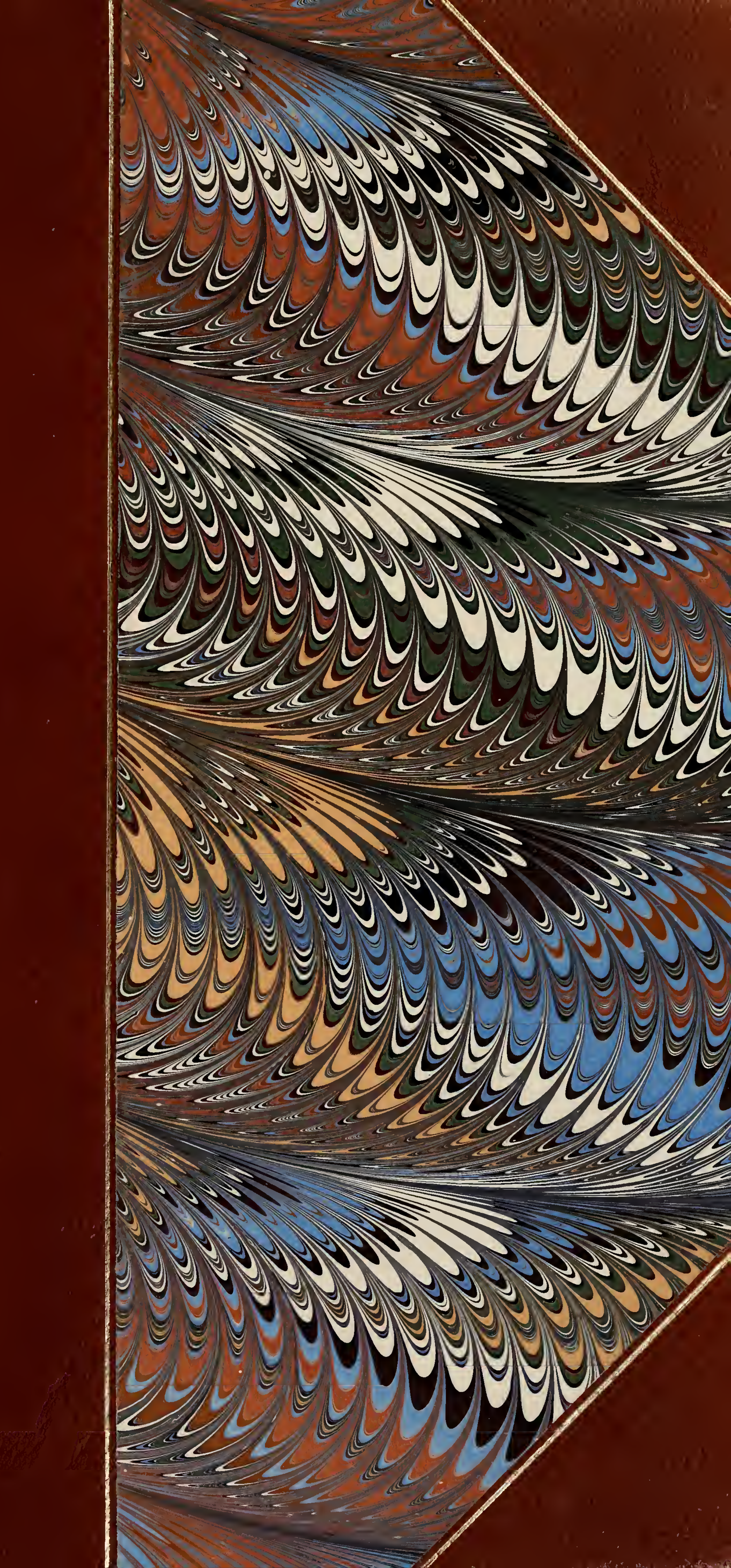


ŒUVRES

COMPLÈTES

DE BUFFON.

TOME IV.

MINÉRAUX.

II.

PARIS. — IMPRIMERIE D'AD. MOESSARD, RUE DE FURSTEMBERG, N° 8 BIS.

ŒUVRES

COMPLÈTES

DE BUFFON

AUGMENTÉES

PAR M. F. CUVIER,

MEMBRE DE L'INSTITUT,
(Académie des Sciences)

DE DEUX VOLUMES

supplémentaires

OFFRANT LA DESCRIPTION DES MAMMIFÈRES ET
DES OISEAUX LES PLUS REMARQUABLES
DÉCOUVERTS JUSQU'A CE JOUR,

ET ACCOMPAGNÉES

D'UN BEAU PORTRAIT DE BUFFON, ET DE 260 GRAVURES EN
TAILLE-DOUCE, EXÉCUTÉES POUR CETTE ÉDITION
PAR LES MEILLEURS ARTISTES.



A PARIS,

CHEZ F. D. PILLOT, ÉDITEUR,
RUE DE SEINE-SAINT-GERMAIN, N° 49;

SALMON, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N° 19.

1829.

SUITE DE L'INTRODUCTION

A L'HISTOIRE

DES MINÉRAUX.

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

SIXIÈME MÉMOIRE.

EXPÉRIENCES SUR LA LUMIÈRE ET SUR LA CHALEUR QU'ELLE PEUT PRODUIRE.

ARTICLE PREMIER.

Invention de miroirs pour brûler à de grandes distances.

L'histoire des miroirs ardents d'Archimède est fameuse ; il les inventa pour la défense de sa patrie, et il lança, disent les anciens, le feu du soleil sur la flotte ennemie, qu'il réduisit en cendres lorsqu'elle approcha des remparts de Syracuse. Mais cette histoire, dont on n'a pas douté pendant quinze ou seize siècles, a d'abord été contredite, et ensuite traitée de fable dans ces derniers temps. Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître : il a nié la possibilité de l'invention, et son opinion a prévalu sur les témoignages et sur la croyance de toute l'antiquité : les physiciens modernes, soit par respect pour leur philosophe, soit par complaisance pour leurs contemporains, ont été de même avis. On n'accorde guère aux anciens que ce qu'on ne peut leur ôter : déterminés peut-être par ces motifs, dont l'amour-propre ne se sert que trop souvent sans qu'on s'en aperçoive, n'avons-nous pas naturellement trop de penchant à refu-

ser ce que nous devons à ceux qui nous ont précédés ? et si notre siècle refuse plus qu'un autre, ne seroit-ce pas qu'étant plus éclairé, il croit avoir plus de droits à la gloire, plus de prétentions à la supériorité ?

Quoi qu'il en soit, cette invention étoit dans le cas de plusieurs autres découvertes de l'antiquité qui se sont évanouies, parce qu'on a préféré la facilité de les nier à la difficulté de les retrouver; et les miroirs ardents d'Archimède étoient si décriés, qu'il ne paroissoit pas possible d'en rétablir la réputation; car, pour appeler du jugement de Descartes, il falloit quelque chose de plus fort que des raisons, et il ne restoit qu'un moyen sûr et décisif, à la vérité, mais difficile et hardi; c'étoit d'entreprendre de trouver les miroirs, c'est-à-dire d'en faire qui puissent produire les mêmes effets. J'en avois conçu depuis long-temps l'idée, et j'avouerai volontiers que le plus difficile de la chose étoit de la voir possible, puisque, dans l'exécution, j'ai réussi au delà même de mes espérances.

J'ai donc cherché le moyen de faire des miroirs pour brûler à de grandes distances, comme de cent, de deux cents, et trois cents pieds. Je savois en général qu'avec les miroirs par réflexion l'on n'avoit jamais brûlé qu'à quinze ou vingt pieds tout au plus, et qu'avec ceux qui sont réfringents la distance étoit encore plus courte, et je sentois bien qu'il étoit impossible, dans la pratique, de travailler un miroir de métal ou de verre avec assez d'exactitude pour brûler à ces grandes distances; que pour brûler, par exemple, à deux cents pieds, la sphère ayant dans ce cas huit cents pieds de diamètre, on ne pouvoit rien espérer de la méthode ordinaire de travailler les verres;

et je me persuadai bientôt que quand même on pourroit en trouver une nouvelle pour donner à de grandes pièces de verre ou de métal une courbure aussi légère, il n'en résulteroit encore qu'un avantage très peu considérable, comme je le dirai dans la suite.

Mais, pour aller par ordre, je cherchai d'abord combien la lumière du soleil perdoit par la réflexion à différentes distances, et quelles sont les matières qui la réfléchissent le plus fortement. Je trouvai, premièrement, que les glaces étamées, lorsqu'elles sont polies avec un peu de soin, réfléchissent plus puissamment la lumière que les métaux les mieux polis, et même mieux que le métal composé dont on se sert pour faire des miroirs de télescopes, et que quoiqu'il y ait dans les glaces deux réflexions, l'une à la surface, et l'autre à l'intérieur, elles ne laissent pas de donner une lumière plus vive et plus nette que le métal, qui produit une lumière colorée.

En second lieu, en recevant la lumière du soleil dans un endroit obscur, et en la comparant avec cette même lumière du soleil réfléchie par une glace, je trouvai qu'à de petites distances, comme de quatre ou cinq pieds, elle ne perdoit qu'environ moitié par la réflexion; ce que je jugeai en faisant tomber sur la première lumière réfléchie une seconde lumière aussi réfléchie; car la vivacité de ces deux lumières réfléchies me parut égale à celle de la lumière directe.

Troisièmement, ayant reçu à de grandes distances, comme à cent, deux cents, et trois cents pieds, cette même lumière réfléchie par de grandes glaces, je reconnus qu'elle ne perdoit presque rien de sa force par l'épaisseur de l'air qu'elle avoit à traverser.

Ensuite je voulus essayer les mêmes choses sur la lumière des bougies; et, pour m'assurer plus exactement de la quantité d'affoiblissement que la réflexion cause à cette lumière, je fis l'expérience suivante.

Je me mis vis-à-vis une glace de miroir avec un livre à la main, dans une chambre où l'obscurité de la nuit étoit entière, et où je ne pouvois distinguer aucun objet; je fis allumer dans une chambre voisine, à quarante pieds de distance environ, une seule bougie, et je la fis approcher peu à peu, jusqu'à ce que je pusse distinguer les caractères et lire le livre que j'avois à la main : la distance se trouva de vingt-quatre pieds du livre à la bougie. Ensuite, ayant retourné le livre du côté du miroir, je cherchai à lire par cette même lumière réfléchie, et je fis intercepter par un paravent la partie de la lumière directe qui ne tomboit pas sur le miroir, afin de n'avoir sur mon livre que la lumière réfléchie : il fallut approcher la bougie, ce qu'on fit peu à peu, jusqu'à ce que je pusse lire les mêmes caractères éclairés par la lumière réfléchie; et alors la distance du livre à la bougie, y compris celle du livre au miroir, qui n'étoit que d'un demi-pied, se trouva être en tout de quinze pieds. Je répétai cela plusieurs fois, et j'eus toujours les mêmes résultats à très peu près; d'où je conclus que la force ou la quantité de la lumière directe est à celle de la lumière réfléchie comme 576 à 225. Ainsi l'effet de la lumière de cinq bougies reçue par une glace plane est à peu près égal à celui de la lumière directe de deux bougies.

La lumière des bougies perd donc plus par la réflexion que la lumière du soleil; et cette différence

vient de ce que les rayons de lumière qui partent de la bougie comme d'un centre tombent plus obliquement sur le miroir que les rayons du soleil, qui viennent presque parallèlement. Cette expérience confirma donc ce que j'avois trouvé d'abord, et je tins pour sûr que la lumière du soleil ne perd qu'environ moitié par sa réflexion sur une glace de miroir.

Ces premières connoissances dont j'avois besoin étant acquises, je cherchai ensuite ce que deviennent en effet les images du soleil lorsqu'on les reçoit à de grandes distances. Pour bien entendre ce que je vais dire, il ne faut pas, comme on le fait ordinairement, considérer les rayons du soleil comme parallèles, et il faut se souvenir que le corps du soleil occupe à nos yeux une étendue d'environ 32 minutes; que par conséquent les rayons qui partent du bord supérieur du disque, venant à tomber sur un point d'une surface réfléchissante, les rayons qui partent du bord inférieur, venant à tomber aussi sur le même point de cette surface, ils forment entre eux un angle de 32 minutes dans l'incidence, et ensuite dans la réflexion, et que par conséquent l'image doit augmenter de grandeur à mesure qu'elle s'éloigne. Il faut de plus faire attention à la figure de ces images : par exemple, une glace plane carrée d'un demi-pied, exposée aux rayons du soleil, formera une image carrée de six pouces, lorsqu'on recevra cette image à une petite distance de la glace, comme de quelques pieds; en s'éloignant peu à peu, on voit l'image augmenter, ensuite se déformer, enfin s'arrondir et demeurer ronde, toujours en s'agrandissant, à mesure qu'elle s'éloigne du miroir. Cette image est composée d'autant de dis-

ques du soleil qu'il y a de points physiques dans la surface réfléchissante : le point du milieu forme une image du disque ; les points voisins en forment de semblables et de même grandeur qui excèdent un peu le disque du milieu ; il en est de même de tous les autres points, et l'image est composée d'une infinité de disques, qui, se surmontant régulièrement et anticipant circulairement les uns sur les autres, forment l'image réfléchie dont le point du milieu de la glace est le centre.

Si l'on reçoit l'image composée de tous ces disques à une petite distance, alors l'étendue qu'ils occupent n'étant qu'un peu plus grande que celle de la glace, cette image est de la même figure et à peu près de la même étendue que la glace. Si la glace est carrée, l'image est carrée; si la glace est triangulaire, l'image est triangulaire : mais lorsqu'on reçoit l'image à une grande distance de la glace, où l'étendue qu'occupent les disques est beaucoup plus grande que celle de la glace, l'image ne conserve plus la figure carrée ou triangulaire de la glace; elle devient nécessairement circulaire : et, pour trouver le point de distance où l'image perd sa figure carrée, il n'y a qu'à chercher à quelle distance la glace nous paroît sous un angle égal à celui que forme le corps du soleil à nos yeux, c'est-à-dire sous un angle de 32 minutes; cette distance sera celle où l'image perdra sa figure carrée, et deviendra ronde; car les disques ayant toujours pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc de cercle qui mesure un angle de 32 minutes, on trouvera, par cette règle, qu'une glace carrée de six pouces perd sa figure carrée à la distance d'environ soixante pieds,

et qu'une glace d'un pied en carré ne la perd qu'à cent vingt pieds environ, et ainsi des autres.

En réfléchissant un peu sur cette théorie, on ne sera plus étonné de voir qu'à de très grandes distances une grande et une petite glace donnent à peu près une image de la même grandeur, et qui ne diffère que par l'intensité de la lumière : on ne sera plus surpris qu'une glace ronde, ou carrée, ou longue, ou triangulaire, ou de telle autre figure que l'on voudra[1], donne toujours des images rondes; et on verra clairement que les images ne s'agrandissent et ne s'affoiblissent pas par la dispersion de la lumière, ou par la perte qu'elle fait en traversant l'air, comme l'ont cru quelques physiciens, et que cela n'arrive, au contraire, que par l'augmentation des disques, qui occupent toujours un espace de 32 minutes, à quelque éloignement qu'on les porte.

De même on sera convaincu, par la simple exposition de cette théorie, que les courbes, de quelque espèce qu'elles soient, ne peuvent être employées avec avantage pour brûler de loin, parce que le diamètre du foyer de toutes les courbes ne peut jamais être plus petit que la corde de l'arc qui mesure un angle de 32 minutes, et que par conséquent le miroir concave le plus parfait, dont le diamètre seroit égal à cette corde, ne feroit jamais le double de l'effet de ce miroir plan de même surface[2]; et si le diamètre de ce miroir courbe étoit plus petit que cette corde, il

1. C'est par cette même raison que les petites images du soleil qui passent entre les feuilles des arbres élevés et touffus, qui tombent sur le sable d'une allée, sont toutes ovales ou rondes.

2. Si l'on se donne la peine de supputer, on trouvera que le mi-

ne feroit guère plus d'effet qu'un miroir plan de même surface.

Lorsque j'eus bien compris ce que je viens d'exposer, je me persuadai bientôt, à n'en pouvoir douter, qu'Archimède n'avoit pu brûler de loin qu'avec des miroirs plans; car, indépendamment de l'impossibilité où l'on étoit alors, et où l'on seroit encore aujourd'hui, d'exécuter des miroirs concaves d'un aussi long foyer, je sentis bien que les réflexions que je viens de faire ne pouvoient pas avoir échappé à ce grand mathématicien. D'ailleurs je pensai que, selon toutes les apparences, les anciens ne savoient pas faire de grandes masses de verre, qu'ils ignoroient l'art de le couler pour en faire de grandes glaces, qu'ils n'avoient tout au plus que celui de le souffler et d'en faire des bouteilles et des vases, et je me persuadai aisément que c'étoit avec des miroirs plans de métal poli, et par la réflexion des rayons du soleil, qu'Archimède avoit brûlé au loin : mais, comme j'avois reconnu que les miroirs de glace réfléchissoient plus puissamment la lumière que les miroirs du métal le plus poli, je pensai à faire construire une machine pour faire coïncider au même point les images réfléchies par un grand nombre de ces glaces planes, bien convaincu que ce moyen étoit le seul par lequel il fût possible de réussir.

Cependant j'avois encore des doutes, et qui me paroissoient même très bien fondés; car voici comment je raisonnois. Supposons que la distance à laquelle je veux brûler soit de deux cent quarante pieds : je vois

roir courbe le plus parfait n'a d'avantage sur un miroir plan que dans la raison de 17 à 10, du moins à très peu près.

clairement que le foyer de mon miroir ne peut avoir moins de deux pieds de diamètre à cette distance; dès lors quelle sera l'étendue que je serai obligé de donner à mon assemblage de miroirs plans pour produire du feu dans un aussi grand foyer? Elle pouvoit être si grande, que la chose eût été impraticable dans l'exécution : car, en comparant le diamètre du foyer au diamètre du miroir, dans les meilleurs miroirs par réflexion que nous ayons, par exemple, avec le miroir de l'Académie, j'avois observé que le diamètre de ce miroir, qui est de trois pieds, étoit cent huit fois plus grand que le diamètre de son foyer, qui n'a qu'environ quatre lignes, et j'en concluois que, pour brûler aussi vivement à deux cent quarante pieds, il eût été nécessaire que mon assemblage de miroirs eût eu deux cent seize pieds de diamètre, puisque le foyer auroit deux pieds; or un miroir de deux cent seize pieds de diamètre étoit assurément une chose impossible.

A la vérité, ce miroir de trois pieds de diamètre brûle assez vivement pour fondre l'or, et je voulus voir combien j'avois à gagner en réduisant son action à n'enflammer que du bois : pour cela, j'appliquai sur le miroir des zones circulaires de papier pour en diminuer le diamètre, et je trouvai qu'il n'avoit plus assez de force pour enflammer du bois sec lorsque son diamètre fut réduit à quatre pouces huit ou neuf lignes. Prenant donc cinq pouces ou soixante lignes pour l'étendue du diamètre nécessaire pour brûler avec un foyer de quatre lignes, je ne pouvois me dispenser de conclure que pour brûler également à deux cent quarante pieds, où le foyer auroit nécessairement deux pieds de diamètre, il me faudroit un mi-

roir de trente pieds de diamètre; ce qui me paroissoit encore une chose impossible, ou du moins impraticable.

A des raisons si positives, et que d'autres auroient regardées comme des démonstrations de l'impossibilité du miroir, je n'avois rien à opposer qu'un soupçon, mais un soupçon ancien, et sur lequel plus j'avois réfléchi, plus je m'étois persuadé qu'il n'étoit pas sans fondement : c'est que les effets de la chaleur pouvoient bien n'être pas proportionnels à la quantité de lumière; ou, ce qui revient au même, qu'à égale intensité de lumière les grands foyers devoient brûler plus vivement que les petits.

En estimant la chaleur mathématiquement, il n'est pas douteux que la force des foyers de même longueur ne soit proportionnelle à la surface des miroirs. Un miroir dont la surface est double de celle d'un autre doit avoir un foyer de la même grandeur, si la courbure est la même; et ce foyer de même grandeur doit contenir le double de la quantité de lumière que contient le premier foyer; et, dans la supposition que les effets sont toujours proportionnels à leurs causes, on avoit toujours cru que la chaleur de ce second foyer devoit être double de celle du premier.

De même, et par la même estimation mathématique, on a toujours cru qu'à égale intensité de lumière un petit foyer devoit brûler autant qu'un grand, et que l'effet de la chaleur devoit être proportionnel à cette intensité de lumière : *en sorte*, disoit Descartes, *qu'on peut faire des verres ou des miroirs extrêmement petits qui brûleront avec autant de violence que les plus grands*. Je pensai d'abord, comme je l'ai dit ci-dessus,

que cette conclusion, tirée de la théorie mathématique, pourroit bien se trouver fausse dans la pratique, parce que la chaleur étant une qualité physique, de l'action et de la propagation de laquelle nous ne connoissons pas bien les lois, il me sembloit qu'il y avoit quelque espèce de témérité à en estimer ainsi les effets par un raisonnement de simple spéculation.

J'eus donc recours encore une fois à l'expérience : je pris des miroirs de métal de différents foyers et de différents degrés de poliment; et, en comparant l'action des différents foyers sur les mêmes matières fusibles ou combustibles, je trouvai qu'à égale intensité de lumière les grands foyers font constamment beaucoup plus d'effet que les petits, et produisent souvent l'inflammation ou la fusion, tandis que les petits ne produisent qu'une chaleur médiocre : je trouvai la même chose avec les miroirs par réfraction. Pour le faire mieux sentir, prenons, par exemple, un grand miroir ardent par réfraction, tel que celui du sieur Segard, qui a trente-deux pouces de diamètre, et un foyer de huit lignes de largeur, à six pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en moins d'une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit verre ardent de trente-deux lignes de diamètre, dont le foyer sera de $^8/_{12}$ ou $^2/_3$ de ligne, et la distance à six pouces. Puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue entière de son foyer, qui est de huit lignes, le petit verre devroit, selon la théorie, fondre dans le même temps la même matière dans l'étendue de son foyer, qui est de $^2/_3$ de ligne. Ayant fait l'expérience, j'ai trouvé, comme je m'y attendois bien, que, loin de fondre le cuivre, ce

petit verre ardent pouvoit à peine donner un peu de chaleur à cette matière.

La raison de cette différence est aisée à donner, si l'on fait attention que la chaleur se communique de proche en proche, et se disperse, pour ainsi dire, lors même qu'elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si l'on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès lors toute la chaleur, quoique employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas, et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeuroit tout entière. Mais si, au lieu d'un foyer d'une ligne qui tombe sur le milieu de l'écu, on fait tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale intensité, toutes les parties de l'écu étant également échauffées, dans ce dernier cas, non seulement il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier, mais même il y a du gain et de l'augmentation de chaleur; car le point du milieu profitant de la chaleur des autres points qui l'environnent, l'écu sera fondu dans ce dernier cas, tandis que, dans le premier, il ne sera que légèrement échauffé.

Après avoir fait ces expériences et ces réflexions, je sentis augmenter prodigieusement l'espérance que j'avois de réussir à faire des miroirs qui brûleroient au loin; car je commençai à ne plus craindre, autant que je l'avois craint d'abord, la grande étendue des foyers : je me persuadai, au contraire, qu'un foyer d'une largeur considérable, comme de deux pieds, et dans le-

quel l'intensité de la lumière ne seroit pas à beaucoup près aussi grande que dans un petit foyer, comme de quatre lignes, pourroit cependant produire avec plus de force l'inflammation et l'embrasement, et que par conséquent ce miroir, qui, par la théorie mathématique, devoit avoir au moins trente pieds de diamètre, se réduiroit sans doute à un miroir de huit ou dix pieds tout au plus; ce qui est non seulement une chose possible, mais même très praticable.

Je pensai donc sérieusement à exécuter mon projet : d'abord j'avois dessein de brûler à deux cents ou trois cents pieds avec des glaces circulaires ou hexagones d'un pied carré de surface, et je voulois faire quatre châssis de fer pour les porter, avec trois vis à chacune pour les mouvoir en tous sens, et un ressort pour les assujettir; mais la dépense trop considérable qu'exigeoit cet ajustement me fit abandonner cette idée, et je me rabattis à des glaces communes de six pouces sur huit pouces, et un ajustement en bois, qui, à la vérité, est moins solide et moins précis, mais dont la dépense convenoit mieux à une tentative. M. Passemant, dont l'habileté dans les mécaniques est connue même de l'Académie, se chargea de ce détail; et je n'en ferai pas la description, parce qu'un coup d'œil sur le miroir en fera mieux entendre la construction qu'un long discours.

Il suffira de dire qu'il a d'abord été composé de cent soixante-huit glaces étamées de six pouces sur huit pouces chacune, éloignées les unes des autres d'environ quatre lignes; que chacune de ces glaces se peut mouvoir en tous sens, et indépendamment de toutes, et que les quatre lignes d'intervalle qui sont

entre elles servent non seulement à la liberté de ce mouvement, mais aussi à laisser voir à celui qui opère l'endroit où il faut conduire ses images. Au moyen de cette construction, l'on peut faire tomber sur le même point les cent soixante-huit images, et par conséquent brûler à plusieurs distances, comme à vingt, trente, et jusqu'à cent cinquante pieds, et à toutes les distances intermédiaires; et en augmentant la grandeur du miroir, ou en faisant d'autres miroirs semblables au premier, on est sûr de porter le feu à de plus grandes distances encore, ou d'en augmenter, autant qu'on voudra, la force ou l'activité à ces premières distances.

Seulement il faut observer que le mouvement dont j'ai parlé n'est point trop aisé à exécuter, et que, d'ailleurs, il y a un grand choix à faire dans les glaces : elles ne sont pas toutes à beaucoup près également bonnes, quoiqu'elles paroissent telles à la première inspection; j'ai été obligé d'en prendre plus de cinq cents pour avoir les cent soixante-huit dont je me suis servi. La manière de les essayer est de recevoir à une grande distance, par exemple à cent cinquante pieds, l'image réfléchie du soleil contre un plan vertical; il faut choisir celles qui donnent une image ronde et bien terminée, et rebuter toutes les autres qui sont en beaucoup plus grand nombre, et dont les épaisseurs étant inégales en différents endroits, ou la surface un peu concave ou convexe au lieu d'être plane, donnent des images mal terminées, doubles, triples, oblongues, chevelues, etc., suivant les différentes défectuosités qui se trouvent dans les glaces.

Par la première expérience que j'ai faite le 23 mars 1747, à midi, j'ai mis le feu, à soixante-six pieds de

distance, à une planche de hêtre goudronnée, avec quarante glaces seulement, c'est-à-dire avec le quart du miroir environ; mais il faut observer que, n'étant pas encore monté sur son pied, il étoit posé très désavantageusement, faisant avec le soleil un angle de près de 20 degrés de déclinaison, et un autre de plus de 10 degrés d'inclinaison.

Le même jour, j'ai mis le feu à une planche goudronnée et soufrée, à cent vingt-six pieds de distance, avec quatre-vingt-dix-huit glaces, le miroir étant posé encore plus désavantageusement. On sent bien que, pour brûler avec le plus d'avantage, il faut que le miroir soit directement opposé au soleil, aussi bien que les matières qu'on veut enflammer; en sorte qu'en supposant un plan perpendiculaire sur le plan du miroir, il faut qu'il passe par le soleil, et en même temps par le milieu des matières combustibles.

Le 3 avril, à quatre heures du soir, le miroir étant monté et posé sur son pied, on a produit une légère inflammation sur une planche couverte de laine hachée, à cent trente-huit pieds de distance, avec cent douze glaces, quoique le soleil fût foible et que la lumière en fût fort pâle. Il faut prendre garde à soi lorsqu'on approche de l'endroit où sont les matières combustibles, et il ne faut pas regarder le miroir; car si malheureusement les yeux se trouvoient au foyer, on seroit aveuglé par l'éclat de la lumière.

Le 4 avril, à onze heures du matin, le soleil étant fort pâle et couvert de vapeurs et de nuages légers, on n'a pas laissé de produire, avec cent cinquante-quatre glaces, à cent cinquante pieds de distance, une chaleur si considérable, qu'elle a fait, en moins

de deux minutes, fumer une planche goudronnée, qui se seroit certainement enflammée, si le soleil n'avoit pas disparu tout à coup.

Le lendemain, 5 avril, à trois heures après midi, par un soleil encore plus foible que le jour précédent, on a enflammé, à cent cinquante pieds de distance, des copeaux de sapin soufrés et mêlés de charbon, en moins d'une minute et demie, avec cent cinquante-quatre glaces. Lorsque le soleil est vif, il ne faut que quelques secondes pour produire l'inflammation.

Le 10 avril, après midi, par un soleil assez net, on a mis le feu à une planche de sapin goudronnée, à cent cinquante pieds, avec cent vingt-huit glaces seulement : l'inflammation a été très subite, et elle s'est faite dans toute l'étendue du foyer, qui avoit environ seize pouces de diamètre à cette distance.

Le même jour, à deux heures et demie, on a porté le feu sur une planche de hêtre goudronnée en partie et couverte en quelques endroits de laine hachée; l'inflammation s'est faite très promptement; elle a commencé par les parties du bois qui étoient découvertes, et le feu étoit si violent, qu'il a fallu tremper dans l'eau la planche pour l'éteindre : il y avoit cent quarante-huit glaces, et la distance étoit de cent cinquante pieds.

Le 11 avril, le foyer n'étant qu'à vingt pieds de distance du miroir, il n'a fallu que douze glaces pour enflammer de petites matières combustibles. Avec vingt-une glaces, on a mis le feu à une planche de hêtre qui avoit déjà été brûlée en partie; avec quarante-cinq glaces, on a fondu un gros flacon d'étain

qui pesoit environ six livres; et avec cent dix-sept glaces, on a fondu des morceaux d'argent mince, et rougi une plaque de tôle : et je suis persuadé qu'à cinquante pieds on fondra les métaux aussi bien qu'à vingt, en employant toutes les glaces du miroir; et comme le foyer à cette distance est large de six à sept pouces, on pourra faire des épreuves en grand sur les métaux[1]; ce qu'il n'étoit pas possible de faire avec les miroirs ordinaires, dont le foyer est ou très foible ou cent fois plus petit que celui de mon miroir. J'ai remarqué que les métaux, et surtout l'argent, fument beaucoup avant de se fondre : la fumée en étoit si sensible, qu'elle faisoit ombre sur le terrain; et c'est là que je l'observois attentivement : car il n'est pas possible de regarder un instant le foyer, lorsqu'il tombe

1. Par des expériences subséquentes, j'ai reconnu que la distance la plus avantageuse pour faire commodément avec ces miroirs des épreuves sur les métaux étoit à quarante ou quarante-cinq pieds. Les assiettes d'argent que j'ai fondues à cette distance avec deux cent vingt-quatre glaces étoient bien nettes, en sorte qu'il n'étoit pas possible d'attribuer la fumée très abondante qui en sortoit à la graisse ou à d'autres matières dont l'argent se seroit imbibé, et comme se le persuadoient les gens témoins de l'expérience. Je la répétai néanmoins sur des plaques d'argent toutes neuves, et j'eus le même effet. Le métal fumoit très abondamment, quelquefois pendant plus de huit ou dix minutes avant de se fondre. J'avois dessein de recueillir cette fumée d'argent par le moyen d'un chapiteau et d'un ajustement semblable à celui dont on se sert dans les distillations, et j'ai toujours eu regret que mes autres occupations m'en aient empêché; car cette manière de tirer l'eau du métal est peut-être la seule qu'on puisse employer. Et si l'on prétend que cette fumée, qui m'a paru humide, ne contient pas de l'eau, il seroit toujours très utile de savoir ce que c'est, car il se peut aussi que ce ne soit que du métal volatilisé. D'ailleurs je suis persuadé qu'en faisant les mêmes épreuves sur l'or, on le verra fumer comme l'argent, peut-être moins, peut-être plus.

sur du métal; l'éclat en est beaucoup plus vif que celui du soleil.

Les expériences que j'ai rapportées ci-dessus, et qui ont été faites dans les premiers temps de l'invention de ces miroirs, ont été suivies d'un grand nombre d'autres expériences qui confirment les premières. J'ai enflammé du bois jusqu'à deux cents et même deux cent dix pieds avec ce même miroir, par le soleil d'été, toutes les fois que le ciel étoit pur; et je crois pouvoir assurer qu'avec quatre semblables miroirs on brûleroit à quatre cents pieds, et peut-être plus loin. J'ai de même fondu tous les métaux et minéraux métalliques à vingt-cinq, trente, et quarante pieds. On trouvera, dans la suite de cet article, les usages auxquels on peut appliquer ces miroirs, et les limites qu'on doit assigner à leur puissance pour la calcination, la combustion, la fusion, etc.

Il faut environ une demi-heure pour monter le miroir, et pour faire coïncider toutes les images au même point : mais lorsqu'il est une fois ajusté, on peut s'en servir à toute heure, en tirant seulement un rideau; il mettra le feu aux matières combustibles très promptement, et on ne doit pas le déranger, à moins qu'on ne veuille changer la distance : par exemple, lorsqu'il est arrangé pour brûler à cent pieds, il faut une demi-heure pour l'ajuster à la distance de cent cinquante pieds, et ainsi des autres.

Ce miroir brûle en haut, en bas, et horizontalement, suivant la différente inclinaison qu'on lui donne. Les expériences que je viens de rapporter ont été faites publiquement au Jardin du Roi, sur un terrain horizontal, contre des planches posées verticalement.

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir qu'il auroit brûlé avec plus de force en haut, et moins de force en bas, et, de même, qu'il est plus avantageux d'incliner le plan des matières combustibles parallèlement au plan du miroir. Ce qui fait qu'il a cet avantage de brûler en haut, en bas, et horizontalement, sur les miroirs ordinaires de réflexion qui ne brûlent qu'en haut, c'est que son foyer est fort éloigné, et qu'il a si peu de courbure qu'elle est insensible à l'œil : il est large de sept pieds, et haut de huit pieds; ce qui ne fait qu'environ la cent cinquantième partie de la circonférence de la sphère, lorsqu'on brûle à cent cinquante pieds.

La raison qui m'a déterminé à préférer des glaces de six pouces de largeur sur huit pouces de hauteur, à des glaces carrées de six ou huit pouces, c'est qu'il est beaucoup plus commode de faire les expériences sur un terrain horizontal et de niveau, que de les faire de bas en haut, et qu'avec cette figure plus haute que large, les images étoient plus rondes, au lieu qu'avec des glaces carrées, elles auroient été raccourcies, surtout pour les petites distances, dans cette situation horizontale.

Cette découverte nous fournit plusieurs choses utiles pour la physique, et peut-être pour les arts. On sait que ce qui rend les miroirs ordinaires de réflexion presque inutiles pour les expériences, c'est qu'ils brûlent toujours en haut, et qu'on est fort embarrassé de trouver des moyens pour suspendre ou soutenir à leur foyer les matières qu'on veut fondre ou calciner. Au moyen de mon miroir, on fera brûler en bas les miroirs concaves, et avec un avantage si considérable,

qu'on aura une chaleur de tel degré qu'on voudra : par exemple, en opposant à mon miroir un miroir concave d'un pied carré de surface, la chaleur que ce dernier miroir produira à son foyer, en employant cent cinquante-quatre glaces seulement, sera douze fois plus grande que celle qu'il produit ordinairement, et l'effet sera le même que s'il existoit douze soleils au lieu d'un, ou plutôt que si le soleil avoit douze fois plus de chaleur.

Secondement, on aura, par le moyen de mon miroir, la vraie échelle de l'augmentation de la chaleur, et on fera un thermomètre réel, dont les divisions n'auront plus rien d'arbitraire, depuis la température de l'air jusqu'à tel degré de chaleur qu'on voudra, en faisant tomber une à une successivement les images du soleil les unes sur les autres, et en graduant les intervalles, soit au moyen d'une liqueur expansive, soit au moyen d'une machine de dilatation; et de là nous saurons en effet ce que c'est qu'une augmentation double, triple, quadruple, etc., de chaleur[1], et nous connoîtrons les matières dont l'expansion ou les autres effets seront les plus convenables pour mesurer les augmentations de chaleur.

Troisièmement, nous saurons au juste combien de fois il faut la chaleur du soleil pour brûler, fondre, ou calciner différentes matières, ce qu'on ne savoit

1. Feu M. de Mairan a fait une épreuve avec trois glaces seulement, et a trouvé que les augmentations du double et du triple de chaleur étoient comme les divisions du thermomètre de Réaumur; mais on ne doit rien conclure de cette expérience, qui n'a donné lieu à ce résultat que par une espèce de hasard. Voyez sur ce sujet mon *Traité des Éléments*.

estimer jusqu'ici que d'une manière vague et fort éloignée de la vérité; et nous serons en état de faire des comparaisons précises de l'activité de nos feux avec celle du soleil, et d'avoir sur cela des rapports exacts et des mesures fixes et invariables.

Enfin on sera convaincu, lorsqu'on aura examiné la théorie que j'ai donnée, et qu'on aura vu l'effet de mon miroir, que le moyen que j'ai employé étoit le seul par lequel il fût possible de réussir à brûler au loin : car, indépendamment de la difficulté physique de faire de grands miroirs concaves, sphériques, paraboliques, ou d'une autre courbure quelconque assez régulière pour brûler à cent cinquante pieds, on se démontrera aisément à soi-même qu'ils ne produiroient qu'à peu près autant d'effet que le mien, parce que le foyer en seroit presque aussi large; que, de plus, ces miroirs courbes, quand même il seroit possible de les exécuter, auroient le désavantage très grand de ne brûler qu'à une seule distance, au lieu que le mien brûle à toutes les distances; et par conséquent on abandonnera le projet de faire, par le moyen des courbes, des miroirs pour brûler au loin : ce qui a occupé inutilement un grand nombre de mathématiciens et d'artistes qui se trompoient toujours, parce qu'ils considéroient les rayons du soleil comme parallèles, au lieu qu'il faut les considérer ici tels qu'ils sont, c'est-à-dire comme faisant des angles de toute grandeur, depuis zéro jusqu'à 32 minutes; ce qui fait qu'il est impossible, quelque courbure qu'on donne à un miroir, de rendre le diamètre du foyer plus petit que la corde de l'arc qui mesure cet angle de 32 minutes. Ainsi, quand même on pourroit faire un miroir

concave pour brûler à une grande distance, par exemple, à cent cinquante pieds, en le travaillant dans tous ses points sur une sphère de six cents pieds de diamètre, et en employant une masse énorme de verre ou de métal, il est clair qu'on aura à peu près autant d'avantage à n'employer au contraire que de petits miroirs plans.

Au reste, comme tout a des limites, quoique mon miroir soit susceptible d'une grande perfection, tant pour l'ajustement que pour plusieurs autres choses, et que je compte bien en faire un autre dont les effets seront supérieurs, cependant il ne faut pas espérer qu'on puisse jamais brûler à de très grandes distances: car pour brûler, par exemple, à une demi-lieue, il faudroit un miroir deux mille fois plus grand que le mien; et tout ce qu'on pourra jamais faire est de brûler à huit ou neuf cents pieds tout au plus. Le foyer, dont le mouvement correspond toujours à celui du soleil, marche d'autant plus vite qu'il est plus éloigné du miroir; et à neuf cents pieds de distance, il feroit un chemin d'environ six pieds par minute.

Il n'est pas nécessaire d'avertir qu'on peut faire, avec de petits morceaux plats de glace ou de métal, des miroirs dont les foyers seront variables, et qui brûleront à de petites distances avec une grande vivacité; et, en les montant à peu près comme l'on monte les parasols, il ne faudroit qu'un seul mouvement pour en ajuster le foyer.

Maintenant que j'ai rendu compte de ma découverte et du succès de mes expériences, je dois rendre à Archimède et aux anciens la gloire qui leur est due. Il est certain qu'Archimède a pu faire avec des miroirs

de métal ce que je fais avec des miroirs de verre; il est sûr qu'il avoit plus de lumières qu'il n'en faut pour imaginer la théorie qui m'a guidé et la mécanique que j'ai fait exécuter, et que par conséquent on ne peut lui refuser le titre de premier inventeur de ces miroirs, que l'occasion où il sut les employer rendit sans doute plus célèbres que le mérite de la chose même.

Pendant le temps que je travaillois à ces miroirs, j'ignorois le détail de tout ce qu'en ont dit les anciens; mais après avoir réussi à les faire, je fus bien aise de m'en instruire. Feu M. Melot, de l'Académie des Belles-Lettres, et l'un des gardes de la Bibliothèque du Roi, dont la grande érudition et les talents étoient connus de tous les savants, eut la bonté de me communiquer une excellente dissertation qu'il avoit faite sur ce sujet, dans laquelle il rapporte les témoignages de tous les auteurs qui ont parlé des miroirs ardents d'Archimède. Ceux qui en parlent le plus clairement sont Zonaras et Tzetzès, qui vivoient tous deux dans le douzième siècle. Le premier dit qu'Archimède, avec ses miroirs ardents, mit en cendres toute la flotte des Romains. « Ce géomètre, dit-il, ayant reçu les rayons du soleil sur un miroir, à l'aide de ces rayons rassemblés et réfléchis par l'épaisseur et le poli du miroir, il embrasa l'air, et alluma une grande flamme qu'il lança tout entière sur les vaisseaux qui mouilloient dans la sphère de son activité, et qui furent tous réduits en cendres. » Le même Zonaras rapporte aussi qu'au siége de Constantinople, sous l'empire d'Anastase, l'an 514 de Jésus-Christ, Proclus brûla, avec des miroirs d'airain, la flotte de Vitalien, qui assiégeoit Constantinople; et il ajoute que ces miroirs

étoient une découverte ancienne, et que l'historien Dion en donne l'honneur à Archimède, qui la fit, et s'en servit contre les Romains lorsque Marcellus fit le siége de Syracuse.

Tzetzès non seulement rapporte et assure le fait des miroirs, mais même il en explique en quelque façon la construction. « Lorsque les vaisseaux, dit-il, furent à la portée du trait, Archimède fit faire une espèce de miroir hexagone, et d'autres plus petits de vingt-quatre angles chacun, qu'il plaça dans une distance proportionnée, et qu'on pouvoit mouvoir à l'aide de leurs charnières et de certaines lames de métal : il plaça le miroir hexagone de façon qu'il étoit coupé par le milieu par le méridien d'hiver et d'été, en sorte que les rayons du soleil reçus sur ce miroir, venant à se briser, allumèrent un grand feu qui réduisit en cendres les vaisseaux romains, quoiqu'ils fussent éloignés de la portée d'un trait. » Ce passage me paroît assez clair : il fixe la distance à laquelle Archimède a brûlé; la portée du trait ne peut guère être que de cent cinquante ou deux cents pieds : il donne l'idée de la construction, et fait voir que le miroir d'Archimède pouvoit être, comme le mien, composé de plusieurs petits miroirs qui se mouvoient par des mouvements de charnières et de ressorts; et enfin il indique la position du miroir, en disant que le miroir hexagone, autour duquel étoient sans doute les miroirs plus petits, étoit coupé par le méridien, ce qui veut dire apparemment que le miroir doit être opposé directement au soleil : d'ailleurs le miroir hexagone étoit probablement celui dont l'image servoit de mire pour ajuster les autres, et cette figure n'est

pas tout-à-fait indifférente, non plus que celle des vingt-quatre angles ou vingt-quatre côtés des petits miroirs. Il est aisé de sentir qu'il y a en effet de l'avantage à donner à ces miroirs une figure polygone d'un grand nombre de côtés égaux, afin que la quantité de lumière soit moins inégalement répartie dans l'image réfléchie; et elle sera répartie le moins inégalement qu'il est possible lorsque les miroirs seront circulaires. J'ai bien vu qu'il y avoit de la perte à employer des miroirs quadrangulaires, longs de six pouces sur huit pouces; mais j'ai préféré cette forme, parce qu'elle est, comme je l'ai dit, plus avantageuse pour brûler horizontalement.

J'ai aussi trouvé, dans la même dissertation de M. Melot, que le P. Kircher avoit écrit qu'Archimède avoit pu brûler à une grande distance avec des miroirs plans, et que l'expérience lui avoit appris qu'en réunissant de cette façon les images du soleil, on produisoit une chaleur considérable au point de réunion.

Enfin, dans les *Mémoires de l'Académie*, année 1726, M. du Fay, dont j'honorerai toujours la mémoire et les talents, paroît avoir touché à cette découverte : il dit « qu'ayant reçu l'image du soleil sur un miroir plan d'un pied carré, et l'ayant portée jusqu'à six cents pieds sur un miroir concave de dix-sept pouces de diamètre, elle avoit encore la force de brûler des matières combustibles au foyer de ce dernier miroir; » et à la fin de son Mémoire il dit que « quelques auteurs (il veut sans doute parler du P. Kircher) ont proposé de former un miroir d'un très long foyer par un grand nombre de petits miroirs plans, que plusieurs personnes tiendroient à la main, et dirigeroient

de façon que les images du soleil formées par chacun de ces miroirs concourroient en un même point, et que ce seroit peut-être la façon de réussir la plus sûre et la moins difficile à exécuter. » Un peu de réflexion sur l'expérience du miroir concave et sur ce projet auroit porté M. du Fay à la découverte du miroir d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; car il me paroît qu'il étoit tout naturel de conclure de son expérience que, puisqu'un miroir concave de dix-sept pouces de diamètre sur lequel l'image du soleil ne tomboit pas tout entière, à beaucoup près, peut cependant brûler par cette seule partie de l'image du soleil réfléchie à six cents pieds dans un foyer que je suppose large de trois lignes, onze cent cinquante six miroirs plans, semblables au premier miroir réfléchissant, doivent à plus forte raison brûler directement à cette distance de six cents pieds, et que par conséquent deux cent quatre-vingt-neuf miroirs plans auroient été plus que suffisants pour brûler à trois cents pieds, en réunissant les deux cent quatre-vingt-neuf images : mais, en fait de découverte, le dernier pas, quoique souvent le plus facile, est cependant celui qu'on fait le plus rarement.

Mon mémoire, tel qu'on vient de le lire, a été imprimé dans le volume de l'*Académie des Sciences*, année 1747, sous le titre : *Invention des miroirs pour brûler à une grande distance.* Feu M. Bouguer, et quelques autres membres de cette savante compagnie, m'ayant fait plusieurs objections, tirées principalement de la doctrine de Descartes dans son *Traité de Dioptrique*, je crus devoir y répondre par le mémoire suivant, qui fut lu à l'Académie la même année, mais

que je ne fis pas imprimer par ménagement pour mes adversaires en opinion. Cependant, comme il contient plusieurs choses utiles, et qu'il pourra servir de préservatif contre les erreurs contenues dans quelques livres d'optique, surtout dans celui de la *Dioptrique* de Descartes, que d'ailleurs il sert d'explication et de suite au mémoire précédent, j'ai jugé à propos de les joindre ici et de les publier ensemble.

ARTICLE SECOND.

Réflexions sur le jugement de Descartes au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs, et l'explication de leurs principaux usages.

La *Dioptrique* de Descartes, cet ouvrage qu'il a donné comme le premier et le principal essai de sa méthode de raisonner dans les sciences, doit être regardée comme un chef-d'œuvre pour son temps : mais les plus belles spéculations sont souvent démenties par l'expérience, et tous les jours les sublimes mathématiques sont obligées de se plier sous de nouveaux faits; car, dans l'application qu'on en fait aux plus petites parties de la physique, on doit se défier de toutes les circonstances, et ne pas se confier aux choses qu'on croit savoir assez, pour prononcer affirmativement sur celles qui sont inconnues. Ce défaut n'est cependant que trop ordinaire; et j'ai cru que je ferois quelque chose d'utile pour ceux qui veulent s'occuper d'optique, que de leur exposer ce qui manquoit

à Descartes pour pouvoir donner une théorie de cette science qui fût susceptible d'être réduite en pratique.

Son *Traité de Dioptrique* est divisé en dix discours. Dans le premier, notre philosophe parle de la lumière; et comme il ignoroit son mouvement progressif, qui n'a été découvert que quelque temps après par Roëmer, il faut modifier tout ce qu'il dit à cet égard, et on ne doit adopter aucune des explications qu'il donne au sujet de la nature et de la propagation de la lumière, non plus que les comparaisons et les hypothèses qu'il emploie pour tâcher d'expliquer les causes et les effets de la vision. On sait actuellement que la lumière est environ 7 minutes $^1/_2$ à venir du soleil jusqu'à nous, que cette émission du corps lumineux se renouvelle à chaque instant, et que ce n'est pas par la pression continue et par l'action ou plutôt l'ébranlement instantané d'une matière subtile que ses effets s'opèrent : ainsi toutes les parties de ce traité où l'auteur emploie cette théorie sont plus que suspectes, et les conséquences ne peuvent être qu'erronées.

Il en est de même de l'explication que Descartes donne de la réfraction; non seulement sa théorie est hypothétique pour la cause, mais la pratique est contraire dans tous les effets. Les mouvements d'une balle qui traverse l'eau sont très différents de ceux de la lumière qui traverse le même milieu; et s'il eût comparé ce qui arrive en effet à une balle, avec ce qui arrive à la lumière, il en auroit tiré des conséquences tout-à-fait opposées à celles qu'il a tirées.

Et, pour ne pas omettre une chose très essentielle,

et qui pourroit induire en erreur, il faut bien se garder, en lisant cet article, de croire, avec notre philosophe, que le mouvement rectiligne peut se changer naturellement en un mouvement circulaire : cette assertion est fausse, et le contraire est démontré depuis que l'on connoît les lois du mouvement.

Comme le second discours roule en grande partie sur cette théorie hypothétique de la réfraction, je me dispenserai de parler en détail des erreurs qui en sont les conséquences ; un lecteur averti ne peut manquer de les remarquer.

Dans les troisième, quatrième, et cinquième discours, il est question de la vision ; et l'explication que Descartes donne au sujet des images qui se forment au fond de l'œil est assez juste : mais ce qu'il dit sur les couleurs ne peut pas se soutenir, ni même s'entendre ; car comment concevoir qu'une certaine proportion entre le mouvement rectiligne et un prétendu mouvement circulaire puisse produire des couleurs? Cette partie a été, comme l'on sait, traitée à fond et d'une manière démonstrative par Newton ; et l'expérience a fait voir l'insuffisance de tous les systèmes préd ents.

Je ne dirai rien du sixième discours, où il tâche d'expliquer comment se font nos sensations : quelque ingénieuses que soient ses hypothèses, il est aisé de sentir qu'elles sont gratuites ; et comme il n'y a presque rien de mathématique dans cette partie, il est inutile de nous y arrêter.

Dans le septième et le huitième discours, Descartes donne une belle théorie géométrique sur les formes que doivent avoir les verres pour produire les effets

qui peuvent servir à la perfection de la vision; et, après avoir examiné ce qui arrive aux rayons qui traversent ces verres de différentes formes, il conclut que les verres elliptiques et hyperboliques sont les meilleurs de tous pour rassembler les rayons; et il finit par donner, dans le neuvième discours, la manière de construire les lunettes de longue vue, et, dans le dixième et dernier discours, celle de tailler les verres.

Cette partie de l'ouvrage de Descartes, qui est proprement la seule partie mathématique de son traité, est plus fondée et beaucoup mieux raisonnée que les précédentes : cependant on n'a point appliqué sa théorie à la pratique; on n'a pas taillé des verres elliptiques ou hyperboliques, et l'on a oublié ces fameuses ovales qui font le principal objet du second livre de sa *Géométrie* : la différente réfrangibilité des rayons, qui étoit inconnue à Descartes, n'a pas été découverte, que cette théorie géométrique a été abandonnée. Il est en effet démontré qu'il n'y a pas autant à gagner par le choix de ces formes qu'il y a à perdre par la différente réfrangibilité des rayons, puisque, selon leur différent degré de réfrangibilité, ils se rassemblent plus ou moins près; mais comme l'on est parvenu à faire des lunettes achromatiques, dans lesquelles on compense la différente réfrangibilité des rayons par des verres de différente densité, il seroit très utile aujourd'hui de tailler des verres hyperboliques ou elliptiques, si l'on veut donner aux lunettes achromatiques toute la perfection dont elles sont susceptibles.

Après ce que je viens d'exposer, il me semble que

l'on ne devroit pas être surpris que Descartes eût mal prononcé au sujet des miroirs d'Archimède, puisqu'il ignoroit un si grand nombre de choses qu'on a découvertes depuis : mais comme c'est ici le point particulier que je veux examiner, il faut rapporter ce qu'il en a dit, afin qu'on soit plus en état d'en juger.

« Vous pouvez aussi remarquer, par occasion, que les rayons du soleil ramassés par le verre elliptique doivent brûler avec plus force qu'étant rassemblés par l'hyperbolique : car il ne faut pas seulement prendre garde aux rayons qui viennent du centre du soleil, mais aussi à tous les autres qui, venant des autres points de la superficie, n'ont pas sensiblement moins de force que ceux du centre; en sorte que la violence de la chaleur qu'ils peuvent causer se doit mesurer par la grandeur du corps qui les assemble, comparée avec celle de l'espace où il les assemble..... sans que la grandeur du diamètre de ce corps y puisse rien ajouter, ni sa figure particulière, qu'environ un quart ou un tiers tout au plus. Il est certain que cette ligne brûlante à l'infini, que quelques uns ont imaginée, n'est qu'une rêverie. »

Jusqu'ici il n'est question que de verres brûlants par réfraction : mais ce raisonnement doit s'appliquer de même aux miroirs par réflexion; et avant que de faire voir que l'auteur n'a pas tiré de cette théorie les conséquences qu'il devoit en tirer, il est bon de lui répondre d'abord par l'expérience. Cette ligne brûlante à l'infini, qu'il regarde comme une rêverie, pourroit s'exécuter par des miroirs de réflexion semblables au mien, non pas à une distance infinie, parce que l'homme ne peut rien faire d'infini, mais à une dis-

tance indéfinie assez considérable : car supposons que mon miroir, au lieu d'être composé de deux cent vingt-quatre petites glaces, fût composé de deux mille, ce qui est possible, il n'en faut que vingt pour brûler à vingt pieds ; et le foyer étant comme une colonne de lumière, ces vingt glaces brûlent en même temps à dix-sept et à vingt-trois pieds : avec vingt-cinq autres glaces, je ferai un foyer qui brûlera depuis vingt-trois jusqu'à trente ; avec vingt-neuf glaces, un foyer qui brûlera depuis trente jusqu'à quarante ; avec trente-quatre glaces, un foyer qui brûlera depuis quarante jusqu'à cinquante-deux ; avec quarante glaces, depuis cinquante-deux jusqu'à soixante-quatre ; avec cinquante glaces, depuis soixante-quatre jusqu'à soixante-seize ; avec soixante glaces, depuis soixante-seize jusqu'à quatre-vingt-huit ; avec soixante-dix glaces, depuis quatre-vingt-huit jusqu'à cent pieds. Voilà donc déjà une ligne brûlante, depuis dix-sept jusqu'à cent pieds, où je n'aurai employé que trois cent vingt-huit glaces ; et, pour la continuer, il n'y a qu'à faire d'abord un foyer de quatre-vingts glaces, il brûlera depuis cent pieds jusqu'à cent seize ; et quatre-vingt-douze glaces, depuis cent seize jusqu'à cent trente-quatre pieds ; et cent huit glaces, depuis cent trente-quatre jusqu'à cent cinquante ; et cent vingt-quatre glaces, depuis cent cinquante jusqu'à cent soixante-dix ; et cent cinquante-quatre glaces, depuis cent soixante-dix jusqu'à deux cents pieds. Ainsi voilà ma ligne brûlante prolongée de cent pieds, en sorte que depuis dix-sept pieds jusqu'à deux cents pieds, en quelque endroit de cette distance qu'on puisse mettre un corps combustible, il sera brûlé ; et, pour cela, il ne faut en

tout que huit cent quatre-vingt-six glaces de six pouces; et en employant le reste des deux mille glaces, je prolongerai de même la ligne brûlante jusqu'à trois et quatre cents pieds; et avec un plus grand nombre de glaces, par exemple avec quatre mille, je la prolongerai beaucoup plus loin, à une distance indéfinie. Or, tout ce qui, dans la pratique, est indéfini peut être regardé comme infini dans la théorie : donc notre célèbre philosophe a eu tort de dire que cette ligne brûlante à l'infini n'étoit qu'une rêverie.

Maintenant venons à la théorie. Rien n'est plus vrai que ce que dit Descartes au sujet de la réunion des rayons du soleil, qui ne se fait pas dans un point, mais dans un espace ou foyer dont le diamètre augmente à proportion de la distance : mais ce grand philosophe n'a pas senti l'étendue de ce principe, qu'il ne donne que comme une remarque; car, s'il y eût fait attention, il n'auroit pas considéré, dans tout le reste de son ouvrage, les rayons du soleil comme parallèles; il n'auroit pas établi comme le fondement de la théorie de sa construction des lunettes la réunion des rayons dans un point, et il se seroit bien gardé de dire affirmativement[1] : « Nous pourrons, par cette invention, voir des objets aussi particuliers et aussi petits dans les astres que ceux que nous voyons communément sur la terre. » Cette assertion ne pouvoit être vraie qu'en supposant le parallélisme des rayons et leur réunion en un seul point; et par conséquent elle est opposée à sa propre théorie, ou plutôt il n'a pas employé la théorie comme il le falloit : et en effet, s'il n'eût pas perdu de vue cette remar-

1. Page 131.

que, il eût supprimé les deux derniers livres de sa *Dioptrique;* car il auroit vu que, quand même les ouvriers eussent pu tailler les verres comme il l'exigeoit, ces verres n'auroient pas produit les effets qu'il leur a supposés, de nous faire distinguer les plus petits objets dans les astres, à moins qu'il n'eût en même temps supposé dans ces objets une intensité de lumière infinie, ou, ce qui revient au même, qu'ils eussent, malgré leur éloignement, pu former un angle sensible à nos yeux.

Comme ce point d'optique n'a jamais été bien éclairci, j'entrerai dans quelques détails à cet égard. On peut démontrer que deux objets également lumineux, et dont les diamètres sont différents, ou bien que deux objets dont les diamètres sont égaux, et dont l'intensité de lumière est différente, doivent être observés avec des lunettes différentes : que, pour observer avec le plus grand avantage possible, il faudroit des lunettes différentes pour chaque planète; que, par exemple, Vénus, qui nous paroît bien plus petite que la lune, et dont je suppose pour un instant la lumière égale à celle de la lune, doit être observée avec une lunette d'un plus long foyer que la lune; et que la perfection des lunettes, pour en tirer le plus grand avantage possible, dépend d'une combinaison qu'il faut faire non seulement entre les diamètres et les courbures des verres, comme Descartes l'a fait, mais encore entre ces mêmes diamètres et l'intensité de la lumière de l'objet qu'on observe. Cette intensité de la lumière de chaque objet est un élément que les auteurs qui ont écrit sur l'optique n'ont jamais employé ; et cependant il fait plus que l'augmentation

de l'angle sous lequel un objet doit nous paroître, en vertu de la courbure des verres. Il en est de même d'une chose qui semble être un paradoxe; c'est que les miroirs ardents, soit par réflexion, soit par réfraction, feroient un effet toujours égal, à quelque distance qu'on les mît du soleil. Par exemple, mon miroir, brûlant, à cent cinquante pieds, du bois sur la terre, brûleroit de même à cent cinquante pieds, et avec autant de force, du bois dans Saturne, où cependant la chaleur du soleil est environ cent fois moindre que sur la terre. Je crois que les bons esprits sentiront bien, sans autre démonstration, la vérité de ces deux propositions, quoique toutes deux nouvelles et singulières.

Mais, pour ne pas m'écarter du sujet que je me suis proposé, et pour démontrer que Descartes n'ayant pas la théorie qui est nécessaire pour construire les miroirs d'Archimède, il n'étoit pas en état de prononcer qu'ils étoient impossibles, je vais faire sentir, autant que je le pourrai, en quoi consistoit la difficulté de cette invention.

Si le soleil, au lieu d'occuper à nos yeux un espace de 32 minutes de degré, étoit réduit en un point, alors il est certain que ce point de lumière réfléchie par un point d'une surface polie, produiroit à toutes les distances une lumière et une chaleur égales, parce que l'interposition de l'air ne fait rien ou presque rien ici; que par conséquent un miroir dont la surface seroit égale à celle d'un autre brûleroit à dix lieues à peu près aussi bien que le premier brûleroit à dix pieds, s'il étoit possible de le travailler sur une sphère de quarante lieues, comme on peut travailler

l'autre sur une sphère de quarante pieds; parce que chaque point de la surface du miroir réfléchissant le point lumineux auquel nous avons réduit le disque du soleil, on auroit, en variant la courbure des miroirs, une égale lumière à toutes les distances, sans changer leurs diamètres. Ainsi, pour brûler à une grande distance, dans ce cas il faudroit en effet un miroir très exactement travaillé sur une sphère, ou une hyperboloïde proportionnée à la distance, ou bien un miroir brisé en une infinité de points physiques plans, qu'il faudroit faire coïncider au même point : mais le disque du soleil occupant un espace de 32 minutes de degré, il est clair que le même miroir sphérique ou hyperbolique, ou d'une autre figure quelconque, ne peut jamais, en vertu de cette figure, réduire l'image du soleil en un espace plus petit que de 32 minutes; que dès lors l'image augmentera toujours à mesure qu'on s'éloignera; que, de plus, chaque point de la surface nous donnera une image d'une même largeur, par exemple d'un demi-pied à soixante pieds : or, comme il est nécessaire, pour produire tout l'effet possible, que toutes ces images coïncident dans cet espace d'un demi-pied, alors, au lieu de briser le miroir en une infinité de parties, il est évident qu'il est à peu près égal et beaucoup plus commode de ne le briser qu'en un petit nombre de parties planes d'un demi-pied de diamètre chacune, parce que chaque petit miroir plan d'un demi-pied donnera une image d'environ un demi-pied, qui sera à peu près aussi lumineuse qu'une pareille surface d'un demi-pied, prise dans le miroir sphérique ou hyperbolique.

La théorie de mon miroir ne consiste donc pas,

comme on l'a dit ici, à avoir trouvé l'art d'inscrire aisément des plans dans une surface sphérique, et le moyen de changer à volonté la courbure de cette surface sphérique; mais elle suppose cette remarque plus délicate, et qui n'avoit jamais été faite, c'est qu'il y a presque autant d'avantage à se servir de miroirs plans que de miroirs de toute autre figure, dès qu'on veut brûler à une certaine distance, et que la grandeur du miroir plan est déterminée par la grandeur de l'image à cette distance, en sorte qu'à la distance de soixante pieds, où l'image du soleil a environ un demi-pied de diamètre, on brûlera à peu près aussi bien avec des miroirs plans d'un demi-pied qu'avec des miroirs hyperboliques les mieux travaillés, pourvu qu'ils n'aient que la même grandeur. De même, avec des miroirs plans d'un pouce et demi, on brûlera à quinze pieds à peu près avec autant de force qu'avec un miroir exactement travaillé dans toutes ses parties; et, pour le dire en un mot, un miroir à facettes plates produira à peu près autant d'effet qu'un miroir travaillé avec la dernière exactitude dans toutes ses parties, pourvu que la grandeur de chaque facette soit égale à la grandeur de l'image du soleil; et c'est par cette raison qu'il y a une certaine proportion entre la grandeur des miroirs plans et les distances, et que, pour brûler plus loin, on peut employer, même avec avantage, de plus grandes glaces dans mon miroir que pour brûler plus près.

Car si cela n'étoit pas, on sent bien qu'en réduisant, par exemple, mes glaces de six pouces à trois pouces, et employant quatre fois autant de ces glaces que des premières, ce qui revient au même pour l'é-

tendue de la surface du miroir, j'aurois eu quatre fois plus d'effet, et que plus les glaces seroient petites, et plus le miroir produiroit d'effet; et c'est à ceci que se seroit réduit l'art de quelqu'un qui auroit seulement tenté d'inscrire une surface polygone dans une sphère, et qui auroit imaginé l'ajustement dont je me suis servi pour faire changer à volonté la courbure de cette surface : il auroit fait les glaces les plus petites qu'il auroit été possible ; mais le fond et la théorie de la chose est d'avoir reconnu qu'il n'étoit pas seulement question d'inscrire une surface polygone dans une sphère avec exactitude, et d'en faire varier la courbure à volonté, mais encore que chaque partie de cette surface devoit avoir une certaine grandeur déterminée pour produire aisément un grand effet; ce qui fait un problème fort différent, et dont la solution m'a fait voir qu'au lieu de travailler ou de briser un miroir dans toutes ses parties pour faire coïncider les images au même endroit, il suffisoit de le briser ou de le travailler à facettes planes en grandes portions égales à la grandeur de l'image, et qu'il y avoit peu à gagner en le brisant en de trop petites parties, ou, ce qui est la même chose, en le travaillant exactement dans tous ses points. C'est pour cela que j'ai dit dans mon mémoire que, pour brûler à de grandes distances, il falloit imaginer quelque chose de nouveau et tout-à-fait indépendant de ce qu'on avoit pensé et pratiqué jusqu'ici; et ayant supputé géométriquement la différence, j'ai trouvé qu'un miroir parfait, de quelque courbure qu'il puisse être, n'aura jamais plus d'avantage sur le mien que de 17 à 10, et qu'en même temps l'exécution en seroit im-

possible pour ne brûler même qu'à une petite distance, comme de vingt-cinq ou trente pieds. Mais revenons aux assertions de Descartes.

Il dit ensuite « qu'ayant deux verres ou miroirs ardents, dont l'un soit beaucoup plus grand que l'autre, de quelque façon qu'il puisse être, pourvu que leurs figures soient toutes pareilles, le plus grand doit bien ramasser les rayons du soleil en un plus grand espace et plus loin de soi que le plus petit, mais que ces rayons ne doivent point avoir plus de force en chaque partie de cet espace qu'en celui où le plus petit les ramasse, en sorte qu'on peut faire des verres ou miroirs extrêmement petits, qui brûleront avec autant de violence que les plus grands. »

Ceci est absolument contraire aux expériences que j'ai rapportées dans mon mémoire, où j'ai fait voir qu'à égale intensité de lumière un grand foyer brûle beaucoup plus qu'un petit : et c'est en partie sur cette remarque, tout opposée au sentiment de Descartes, que j'ai fondé la théorie de mes miroirs; car voici ce qui suit de l'opinion de ce philosophe. Prenons un grand miroir ardent, comme celui du sieur Segard, qui a trente-deux pouces de diamètre, et un foyer de neuf lignes de largeur à six pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit miroir ardent de trente-deux lignes de diamètre, dont le foyer sera de $^{9}/_{12}$ ou de $^{3}/_{4}$ de ligne de diamètre, et la distance de six pouces : puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue de son foyer, qui est de neuf lignes, le petit doit, selon Descartes, fondre dans le même temps la même matière dans l'é-

tendue de son foyer, qui est de $^3/_4$ de ligne : or j'en appelle à l'expérience, et on verra que, bien loin de fondre le cuivre, à peine ce petit verre brûlant pourra-t-il lui donner un peu de chaleur.

Comme ceci est une remarque physique et qui n'a pas peu servi à augmenter mes espérances lorsque je doutois encore si je pourrois produire du feu à une grande distance, je crois devoir communiquer ce que j'ai pensé à ce sujet.

La première chose à laquelle je fis attention, c'est que la chaleur se communique de proche en proche et se disperse, quand même elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès lors toute la chaleur, quoique employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas, et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeuroit tout entière. Mais si au lieu d'un foyer d'une ligne, qui tombe sur le milieu de l'écu, je fais tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale force au premier, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier; et le point du milieu profitant de la chaleur des autres points autant que ces points profitent de la sienne, l'écu sera fondu par la chaleur dans ce dernier cas, tandis que dans le premier il n'aura été que légèrement échauffé. De là je conclus que toutes les fois qu'on peut faire un grand

foyer, on est sûr de produire de plus grands effets qu'avec un petit foyer, quoique l'intensité de lumière soit la même dans tous deux, et qu'un petit miroir ardent ne peut jamais faire autant d'effet qu'un grand; et même qu'avec une moindre intensité de lumière un grand miroir doit faire plus d'effet qu'un petit, la figure de ces deux miroirs étant toujours supposée semblable. Ceci, qui, comme l'on voit, est directement opposé à ce que dit Descartes, s'est trouvé confirmé par les expériences rapportées dans mon mémoire. Mais je ne me suis pas borné à savoir d'une manière générale que les grands foyers agissoient avec plus de force que les petits : j'ai déterminé à très peu près de combien est cette augmentation de force, et j'ai vu qu'elle étoit très considérable; car j'ai trouvé que s'il faut dans un miroir cent quarante-quatre fois la surface d'un foyer de six lignes de diamètre pour brûler, il faut au moins le double, c'est-à-dire deux cent quatre-vingt-huit fois cette surface pour brûler à un foyer de deux lignes, et qu'à un foyer de six pouces il ne faut pas trente fois cette même surface du foyer pour brûler; ce qui fait, comme l'on voit, une prodigieuse différence, sur laquelle j'ai compté lorsque j'ai entrepris de faire mon miroir; sans cela il y auroit eu de la témérité à l'entreprendre, et il n'auroit pas réussi. Car supposons un instant que je n'eusse pas eu cette connoissance de l'avantage des grands foyers sur les petits, voici comme j'aurois été obligé de raisonner. Puisqu'il faut à un miroir deux cent quatre-vingt-huit fois la surface du foyer pour brûler dans un espace de deux lignes, il faudra de même deux cent quatre-vingt-huit glaces ou miroirs de six pouces

pour brûler dans un espace de six pouces; et dès lors, pour brûler seulement à cent pieds, il auroit fallu un miroir composé d'environ onze cent cinquante-deux glaces de six pouces; ce qui étoit une grandeur énorme pour un petit effet, et cela étoit plus que suffisant pour me faire abandonner mon projet : mais connoissant l'avantage considérable des grands foyers sur les petits, qui, dans ce cas, est de 288 à 30, je sentis qu'avec cent vingt glaces de six pouces je brûlerois très certainement à cent pieds; et c'est sur cela que j'entrepris avec confiance la construction de mon miroir, qui, comme l'on voit, suppose une théorie, tant mathématique que physique, fort différente de ce qu'on pouvoit imaginer au premier coup d'œil.

Descartes ne devoit donc pas affirmer qu'un petit miroir ardent brûleroit aussi violemment qu'un grand.

Il dit ensuite : « Et un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie de la distance qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons du soleil, c'est-à-dire qui a même proportion avec cette distance qu'a le diamètre du soleil avec celle qui est entre lui et nous, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui viennent directement du soleil; ce qui se doit aussi entendre des verres brûlants à proportion : d'où vous pouvez voir que ceux qui ne sont qu'à demi savants en l'optique se laissent persuader beaucoup de choses qui sont impossibles, et que ces miroirs dont on a dit qu'Archimède brûloit des navires de fort loin devoient être extrêmement grands, ou plutôt qu'ils sont fabuleux. »

C'est ici que je bornerai mes réflexions : si notre illustre philosophe eût su que les grands foyers brûlent plus que les petits à égale intensité de lumière, il auroit jugé bien différemment, et il auroit mis une forte restriction à cette conclusion.

Mais, indépendamment de cette connoissance qui lui manquoit, son raisonnement n'est point du tout exact; car un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons n'est plus un miroir ardent, puisque le diamètre de l'image est environ égal au diamètre du miroir dans ce cas, et par conséquent il ne peut rassembler les rayons, comme le dit Descartes, qui semble n'avoir pas vu qu'on doit réduire ce cas à celui des miroirs plans. Mais de plus, en n'employant que ce qu'il savoit et ce qu'il avoit prévu, il est visible que s'il eût réfléchi sur l'effet de ce prétendu miroir qu'il suppose poli par un ange, et qui ne doit pas rassembler, mais seulement réfléchir la lumière avec autant de force qu'elle en a en venant directement du soleil, il auroit vu qu'il étoit possible de brûler à de grandes distances avec un miroir de médiocre grandeur, s'il eût pu lui donner la figure convenable; car il auroit trouvé que, dans cette hypothèse, un miroir de cinq pieds auroit brûlé à plus de deux cents pieds, parce qu'il ne faut pas six fois la chaleur du soleil pour brûler à cette distance; et, de même, qu'un miroir de sept pieds auroit brûlé à près de quatre cents pieds, ce qui ne fait pas des miroirs assez grands pour qu'on puisse les traiter de fabuleux.

Il me reste à observer que Descartes ignoroit com-

bien il falloit de fois la lumière du soleil pour brûler; qu'il ne dit pas un mot des miroirs plans; qu'il étoit fort éloigné de soupçonner la mécanique par laquelle on pouvoit les disposer pour brûler au loin, et que par conséquent il a prononcé sans avoir assez de connoissances sur cette matière, et même sans avoir fait assez de réflexions sur ce qu'il en savoit.

Au reste, je ne suis pas le premier qui aie fait quelques reproches à Descartes sur ce sujet, quoique j'en aie acquis le droit plus qu'un autre; car, pour ne pas sortir du sein de cette compagnie[1], je trouve que M. du Fay en a presque dit autant que moi. Voici ses paroles : « Il ne s'agit pas, dit-il, si un tel miroir qui brûleroit à six cents pieds est possible ou non, mais si, physiquement parlant, cela peut arriver. Cette opinion a été extrêmement contredite, et je dois mettre Descartes à la tête de ceux qui l'ont combattue. » Mais quoique M. du Fay regardât la chose comme impossible à exécuter, il n'a pas laissé de sentir que Descartes avoit eu tort d'en nier la possibilité dans la théorie. J'avouerai volontiers que Descartes a entrevu ce qui arrive aux images réfléchies ou réfractées à différentes distances, et qu'à cet égard sa théorie est peut-être aussi bonne que celle de M. du Fay, que ce dernier n'a pas développée; mais les inductions qu'il en tire sont trop générales et trop vagues, et les dernières conséquences sont fausses; car si Descartes eût bien compris toute cette matière, au lieu de traiter le miroir d'Archimède de chose impossible et fabuleuse, voici ce qu'il auroit dû conclure de sa propre théorie. Puisqu'un miroir ardent, dont le diamètre n'est

1. L'Académie royale des Sciences.

pas plus grand que la centième partie de la distance qui est entre le lieu où il doit rassembler les rayons du soleil, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui viennent directement du soleil, ce miroir ardent doit être considéré comme un miroir plan parfaitement poli, et par conséquent, pour brûler à une grande distance, il faut autant de ces miroirs plans qu'il faut de fois la lumière directe du soleil pour brûler; en sorte que les miroirs dont on dit qu'Archimède s'est servi pour brûler des vaisseaux de loin devoient être composés de miroirs plans, dont il falloit au moins un nombre égal au nombre de fois qu'il faut à la lumière directe du soleil pour brûler. Cette conclusion, qui eût été la vraie selon ses principes, est, comme l'on voit, fort différente de celle qu'il a donnée.

On est maintenant en état de juger si je n'ai pas traité le célèbre Descartes avec tous les égards que mérite son grand nom, lorsque j'ai dit dans mon mémoire : « Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître : il a nié la possibilité de l'invention; et son opinion a prévalu sur les témoignages et la croyance de toute l'antiquité. »

Ce que je viens d'exposer suffit pour justifier ces termes que l'on m'a reprochés ; et peut-être même sont-ils trop forts, car Archimède étoit un très grand génie ; et lorsque j'ai dit que Descartes étoit né pour le juger, et même pour le surpasser, j'ai senti qu'il pouvoit bien y avoir un peu de compliment national dans mon expression.

J'aurois encore beaucoup de choses à dire sur cette matière; mais comme ceci est déjà bien long, quoique j'aie fait tous mes efforts pour être court, je me bornerai pour le fond du sujet à ce que je viens d'exposer; mais je ne puis me dispenser de parler encore un moment au sujet de l'historique de la chose, afin de satisfaire, par ce seul mémoire, à toutes les objections et difficultés qu'on m'a faites.

Je ne prétends pas prononcer affirmativement qu'Archimède se soit servi de pareils miroirs au siége de Syracuse, ni même que ce soit lui qui les ait inventés; et je ne les ai appelés *les miroirs d'Archimède* que parce qu'ils étoient connus sous ce nom depuis plusieurs siècles. Les auteurs contemporains et ceux des temps qui suivent celui d'Archimède, et qui sont parvenus jusqu'à nous, ne font pas mention de ces miroirs : Tite-Live, à qui le merveilleux fait tant de plaisir à raconter, n'en parle pas; Polybe, à l'exactitude de qui les grandes inventions n'auroient pas échappé, puisqu'il entre dans le détail des plus petites, et qu'il décrit très soigneusement les plus légères circonstances du siége de Syracuse, garde un silence profond au sujet de ces miroirs; Plutarque, ce judicieux et grave auteur, qui a rassemblé un si grand nombre de faits particuliers de la vie d'Archimède, parle aussi peu des miroirs que les deux précédents. En voilà plus qu'il n'en faut pour se croire fondé à douter de la vérité de cette histoire : cependant ce ne sont ici que des témoignages négatifs; et quoiqu'ils ne soient pas indifférents, ils ne peuvent jamais donner une probabilité équivalente à celle d'un seul témoignage positif.

Galien, qui vivoit dans le second siècle, est le premier qui en ait parlé; et, après avoir raconté l'histoire d'un homme qui enflamma de loin un morceau de bois résineux, mêlé avec de la fiente de pigeon, il dit que c'est de cette façon qu'Archimède brûla les vaisseaux des Romains; mais, comme il ne décrit pas ce moyen de brûler de loin, et que son expression peut signifier aussi bien un feu qu'on auroit lancé à la main ou par quelque machine, qu'une lumière réfléchie par un miroir, son témoignage n'est pas assez clair pour qu'on puisse en rien conclure d'affirmatif. Cependant on doit présumer, et même avec une grande probabilité, qu'il ne rapporte l'histoire de cet homme qui brûla au loin que parce qu'il le fit d'une manière singulière, et que, s'il n'eût brûlé qu'en lançant le feu à la main, ou en le jetant par le moyen d'une machine, il n'y auroit eu rien d'extraordinaire dans cette façon d'enflammer, rien par conséquent qui fût digne de remarque, et qui méritât d'être rapporté et comparé à ce qu'avoit fait Archimède, et dès lors Galien n'en eût pas fait mention.

On a aussi des témoignages semblables de deux ou trois autres auteurs du troisième siècle, qui disent seulement qu'Archimède brûla de loin les vaisseaux des Romains, sans expliquer les moyens dont il se servit; mais les témoignages des auteurs du douzième siècle ne sont point équivoques, et surtout ceux de Zonaras et de Tzetzès que j'ai cités; c'est-à-dire ils nous font voir clairement que cette invention étoit connue des anciens; car la description qu'en fait ce dernier auteur suppose nécessairement ou qu'il eût trouvé lui-même le moyen de construire ces miroirs, ou qu'il l'eût ap-

pris et cité d'après quelque auteur qui en avoit fait une très exacte description, et que l'inventeur, quel qu'il fût, entendoit à fond la théorie de ces miroirs; ce qui résulte de ce que dit Tzetzès de la figure de vingt-quatre angles ou côtés qu'avoient les petits miroirs, ce qui est en effet la figure la plus avantageuse. Ainsi on ne peut pas douter que ces miroirs n'aient été inventés et exécutés autrefois, et le témoignage de Zonaras, au sujet de Proclus, n'est pas suspect : « Proclus s'en servit, dit-il, au siége de Constantinople, l'an 514, et il brûla la flotte de Vitalien. » Et même ce que Zonaras ajoute me paroît une espèce de preuve qu'Archimède étoit le premier inventeur de ces miroirs; car il dit précisément que cette découverte étoit ancienne, et que l'historien Dion en attribue l'honneur à Archimède, qui la fit et s'en servit contre les Romains au siége de Syracuse. Les livres de Dion où il est parlé du siége de Syracuse ne sont pas parvenus jusqu'à nous; mais il y a grande apparence qu'ils existoient encore du temps de Zonaras, et que, sans cela, il ne les eût pas cités comme il l'a fait. Ainsi, toutes les probabilités de part et d'autre étant évaluées, il reste une forte présomption qu'Archimède avoit en effet inventé ces miroirs, et qu'il s'en étoit servi contre les Romains. Feu M. Melot, que j'ai cité dans mon mémoire, et qui avoit fait des recherches particulières et très exactes sur ce sujet, étoit de ce sentiment, et il pensoit qu'Archimède avoit en effet brûlé les vaisseaux à une distance médiocre, et, comme le dit Tzetzès, à la portée du trait. J'ai évalué la portée du trait à cent cinquante pieds, d'après ce que m'en ont dit des savants très versés dans la connoissance des usages anciens : ils

m'ont assuré que toutes les fois qu'il est question, dans les auteurs, de la portée du trait, on doit entendre la distance à laquelle un homme lançoit à la main un trait ou un javelot; et, si cela est, je crois avoir donné à cette distance toute l'étendue qu'elle peut comporter.

J'ajouterai qu'il n'est question dans aucun auteur ancien d'une plus grande distance, comme de trois stades, et j'ai déjà dit que l'auteur qu'on m'avoit cité, Diodore de Sicile, n'en parle pas, non plus que du siége de Syracuse, et que ce qui nous reste de cet auteur finit à la guerre d'Ipsus et d'Antigonus, environ soixante ans avant le siége de Syracuse. Ainsi on ne peut pas excuser Descartes en supposant qu'il a cru que la distance à laquelle on a prétendu qu'Archimède avoit brûlé étoit très grande, comme par exemple de trois stades, puisque cela n'est dit dans aucun auteur ancien, et qu'au contraire il est dit dans Tzetzès que cette distance n'étoit que de la portée du trait; mais je suis convaincu que c'est cette même distance que Descartes a regardée comme fort grande, et qu'il étoit persuadé qu'il n'étoit pas possible de faire des miroirs pour brûler à cent cinquante pieds; qu'enfin c'est pour cette raison qu'il a traité ceux d'Archimède de fabuleux.

Au reste, les effets du miroir que j'ai construit ne doivent être regardés que comme des essais sur lesquels, à la vérité, on peut statuer, toutes proportions gardées, mais qu'on ne doit pas considérer comme les plus grands effets possibles; car je suis convaincu que si on vouloit faire un miroir semblable, avec toutes les attentions nécessaires, il produiroit plus du dou-

ble de l'effet. La première attention seroit de prendre des glaces de figure hexagone, ou même de vingt-quatre côtés, au lieu de les prendre barlongues, comme celles que j'ai employées, et cela, afin d'avoir des figures qui pussent s'ajuster ensemble sans laisser de grands intervalles, et qui approchassent en même temps de la figure circulaire. La seconde seroit de faire polir ces glaces jusqu'au dernier degré par un lunetier, au lieu de les employer telles qu'elles sortent de la manufacture, où le poliment se faisant par une portion de cercle, les glaces sont toujours un peu concaves et irrégulières. La troisième attention seroit de choisir, parmi un grand nombre de glaces, celles qui donneroient à une grande distance une image plus vive et mieux terminée, ce qui est extrêmement important, et au point qu'il y a dans mon miroir des glaces qui font seules trois fois plus d'effet que d'autres à une grande distance, quoiqu'à une petite distance, comme de vingt ou vingt-cinq pieds, l'effet en paroisse absolument le même. Quatrièmement, il faudroit des glaces d'un demi-pied tout au plus de surface pour brûler à cent cinquante ou deux cents pieds, et d'un pied de surface pour brûler à trois ou quatre cents pieds. Cinquièmement, il faudroit les faire étamer avec plus de soin qu'on ne le fait ordinairement. J'ai remarqué qu'en général les glaces fraîchement étamées réfléchissent plus de lumière que celles qui le sont anciennement; l'étamage, en se séchant, se gerce, se divise, et laisse de petits intervalles qu'on aperçoit en y regardant de près avec une loupe; et ces petits intervalles donnant passage à la lumière, la glace en réfléchit d'autant moins. On pour-

roit trouver le moyen de faire un meilleur étamage, et je crois qu'on y parviendroit en employant de l'or et du vif-argent : la lumière seroit peut-être un peu jaune par la réflexion de cet étamage; mais bien loin que cela fît un désavantage, j'imagine au contraire qu'il y auroit à gagner, parce que les rayons jaunes sont ceux qui ébranlent le plus fortement la rétine et qui brûlent le plus violemment, comme je crois m'en être assuré, en réunissant, au moyen d'un verre lenticulaire, une quantité de rayons jaunes qui m'étoient fournis par un grand prisme, et en comparant leur action avec une égale quantité de rayons de toute autre couleur, réunis par le même verre lenticulaire, et fournis par le même prisme.

Sixièmement, il faudroit un châssis de fer et des vis de cuivre, et un ressort pour assujettir chacune des petites planches qui portent les glaces; tout cela conforme à un modèle que j'ai fait exécuter par le sieur Chopitel, afin que la sécheresse et l'humidité, qui agissent sur le châssis et les vis en bois, ne causassent pas d'inconvénient, et que le foyer, lorsqu'il est une fois formé, ne fût pas sujet à s'élargir, et à se déranger lorsqu'on fait rouler le miroir sur son pivot, ou qu'on le fait tourner autour de son axe pour suivre le soleil : il faudroit aussi y ajouter une alidade avec deux pinnules au milieu de la partie inférieure du châssis, afin de s'assurer de la position du miroir par rapport au soleil, et une autre alidade semblable, mais dans un plan vertical au plan de la première, pour suivre le soleil à ses différentes hauteurs.

Au moyen de toutes ces attentions, je crois pouvoir assurer, par l'expérience que j'ai acquise en me

servant de mon miroir, qu'on pourroit en réduire la grandeur à moitié, et qu'au lieu d'un miroir de sept pieds avec lequel j'ai brûlé du bois à cent cinquante pieds, on produiroit le même effet avec un miroir de cinq pieds et demi, ce qui n'est, comme l'on voit, qu'une très médiocre grandeur pour un très grand effet; et, de même, je crois pouvoir assurer qu'il ne faudroit alors qu'un miroir de quatre pieds et demi pour brûler à cent pieds; et qu'un miroir de trois pieds et demi brûleroit à soixante pieds, ce qui est une distance bien considérable en comparaison du diamètre du miroir.

Avec un assemblage de petits miroirs plans hexagones et d'acier poli, qui auroient plus de solidité, plus de durée que les glaces étamées, et qui ne seroient point sujets aux altérations que la lumière du soleil fait subir à la longue à l'étamage, on pourroit produire des effets très utiles, et qui dédommageroient amplement des dépenses de la construction du miroir.

1° Pour toutes les opérations des eaux salées, où l'on est obligé de consommer du bois et du charbon, ou d'employer l'art des bâtiments de graduation, qui coûtent beaucoup plus que la construction de plusieurs miroirs tels que je les propose. Il ne faudroit, pour l'évaporation des eaux salées, qu'un assemblage de douze miroirs plans d'un pied carré chacun; la chaleur qu'ils réfléchiront à leur foyer, quoique dirigée au dessous de leur niveau, et à quinze ou seize pieds de distance, sera encore assez grande pour faire bouillir l'eau, et produire par conséquent une prompte évaporation; car la chaleur de l'eau bouillante n'est que triple de la chaleur du soleil d'été;

et, comme la réflexion d'une surface plane bien polie ne diminue la chaleur que de moitié, il ne faudroit que six miroirs pour produire au foyer une chaleur égale à celle de l'eau bouillante; mais j'en double le nombre, afin que la chaleur se communique plus vite, et aussi à cause de la perte occasionée par l'obliquité, sous laquelle le faisceau de la lumière tombe sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer, et encore parce que l'eau salée s'échauffe plus lentement que l'eau douce. Ce miroir, dont l'assemblage ne formeroit qu'un carré de quatre pieds de largeur sur trois de hauteur, seroit aisé à manier et à transporter; et, si l'on vouloit en doubler ou tripler les effets dans le même temps, il vaudroit mieux faire plusieurs miroirs semblables, c'est-à-dire doubler ou tripler le nombre de ces mêmes miroirs de quatre pieds sur trois que d'en augmenter l'étendue; car l'eau ne peut recevoir qu'un certain degré de chaleur déterminée, et l'on ne gagneroit presque rien à augmenter ce degré, et par conséquent la grandeur du miroir; au lieu qu'en faisant deux foyers par deux miroirs égaux, on doublera l'effet de l'évaporation, et on le triplera par trois miroirs dont les foyers tomberont séparément les uns des autres sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer. Au reste, l'on ne peut éviter la perte causée par l'obliquité; et si l'on veut y remédier, ce ne peut être que par une autre perte encore plus grande, en recevant d'abord les rayons du soleil sur une grande glace qui les réfléchiroit sur le miroir brisé; car alors il brûleroit en bas, au lieu de brûler en haut; mais il perdroit moitié de la chaleur par la première réflexion, et moitié du reste par la seconde; en sorte

qu'au lieu de six petits miroirs, il en faudroit douze pour obtenir une chaleur égale à celle de l'eau bouillante.

Pour que l'évaporation se fasse avec plus de succès, il faudra diminuer l'épaisseur de l'eau autant qu'il sera possible. Une masse d'eau d'un pied d'épaisseur ne s'évaporera pas aussi vite, à beaucoup près, que la masse même réduite à six pouces d'épaisseur et augmentée du double en superficie. D'ailleurs le fond étant plus près de la surface, il s'échauffe plus promptement, et cette chaleur que reçoit le fond du vaisseau contribue encore à la célérité de l'évaporation.

2° On pourra se servir avec avantage de ces miroirs pour calciner les plâtres et même les pierres calcaires; mais il les faudroit plus grands et placer les matières en haut, afin de ne rien perdre par l'obliquité de la lumière. On a vu par les expériences détaillées dans le second de ces mémoires que le gypse s'échauffe plus d'une fois plus vite que la pierre calcaire tendre, et près de deux fois plus vite que le marbre ou la pierre calcaire dure; leur calcination respective doit être en même raison. J'ai trouvé, par une expérience répétée trois fois, qu'il faut un peu plus de chaleur pour calciner le gypse blanc qu'on appelle *albâtre* que pour fondre le plomb. Or la chaleur nécessaire pour fondre le plomb est, suivant les expériences de Newton, huit fois plus grande que la chaleur du soleil d'été : il faudroit donc au moins seize petits miroirs pour calciner le gypse; et à cause des pertes occasionées tant par l'obliquité de la lumière que par l'irrégularité du foyer, qu'on n'éloignera pas au delà de quinze pieds, je présume qu'il faudroit vingt et peut-être

vingt-quatre miroirs d'un pied carré chacun pour calciner le gypse en peu de temps : par conséquent il faudroit un assemblage de quarante-huit de ces petits miroirs pour opérer la calcination sur la pierre calcaire la plus tendre, et soixante-douze des mêmes miroirs d'un pied en carré pour calciner les pierres calcaires dures. Or un miroir de douze pieds de largeur sur six pieds de hauteur ne laisse pas d'être une grosse machine embarrassante et difficile à mouvoir, à monter, et à maintenir. Cependant on viendroit à bout de ces difficultés, si le produit de la calcination étoit assez considérable pour équivaloir et même surpasser la dépense de la consommation du bois : il faudroit, pour s'en assurer, commencer par calciner le plâtre avec un miroir de vingt-quatre pièces, et, si cela réussissoit, faire deux autres miroirs pareils, au lieu d'en faire un grand de soixante-douze pièces; car, en faisant coïncider les foyers de ces trois miroirs de vingt-quatre pièces, on produira une chaleur égale, et qui seroit assez forte pour calciner le marbre ou la pierre dure.

Mais une chose très essentielle reste douteuse; c'est de savoir combien il faudroit de temps pour calciner, par exemple, un pied cube de matière, surtout si ce pied cube n'étoit frappé de chaleur que par une face : je vois qu'il se passeroit du temps avant que la chaleur eût pénétré toute son épaisseur; je vois que, pendant tout ce temps, il s'en perdroit une assez grande partie qui sortiroit de ce bloc de matière après y être entrée : je crains donc beaucoup que la pierre n'étant pas saisie par la chaleur de tous les côtés à la fois, la calcination ne fût très lente, et le produit en chaux très

petit. L'expérience seule peut ici décider; mais il faudroit au moins la tenter sur les matières gypseuses, dont la calcination doit être une fois plus prompte que celle des pierres calcaires[1].

En concentrant cette chaleur du soleil dans un four qui n'auroit d'autre ouverture que celle qui laisseroit entrer la lumière, on empêcheroit en grande partie la chaleur de s'évaporer; et en mêlant avec les pierres calcaires une petite quantité de brasque ou poudre de charbon, qui de toutes les matières combustibles est la moins chère, cette légère quantité d'aliment suffiroit pour nourrir et augmenter de beaucoup la quantité de chaleur; ce qui produiroit une plus ample et plus prompte calcination, et à très peu de frais, comme on l'a vu par la seconde expérience du quatrième mémoire.

3° Ces miroirs d'Archimède peuvent servir en effet à mettre le feu dans des voiles de vaisseau, et même dans le bois goudronné, à plus de cent cinquante pieds de distance : on pourroit s'en servir aussi contre ses ennemis en brûlant les blés et les autres productions de la terre; cet effet, qui seroit assez prompt, seroit très dommageable. Mais ne nous occupons pas des moyens de faire du mal, et ne pensons qu'à ceux qui peuvent procurer quelque bien à l'humanité.

4° Ces miroirs fournissent le seul et unique moyen

1. Il vient de paroître un petit ouvrage rempli de grandes vues, de M. l'abbé Scipion Bexon, qui a pour titre : *Système de la fertilisation.* Il propose mes miroirs comme un moyen facile pour réduire en chaux toutes les matières : mais il leur attribue plus de puissance qu'ils n'en ont réellement, et ce n'est qu'en les multipliant qu'on pourroit obtenir les grands effets qu'il s'en promet.

qu'il y ait de mesurer exactement la chaleur : il est évident que deux miroirs dont les images lumineuses se réunissent produisent une chaleur double dans tous les points de la surface qu'elles occupent ; que trois, quatre, cinq, etc., miroirs donneront de même une chaleur triple, quadruple, quintuple, etc., et que par conséquent on peut par ce moyen faire un thermomètre dont les divisions ne seront point arbitraires, et les échelles différentes, comme le sont celles de tous les thermomètres dont on s'est servi jusqu'à ce jour. La seule chose arbitraire qui entreroit dans la construction de ce thermomètre seroit la supposition du nombre total des parties du mercure en partant du degré de froid absolu ; mais en le prenant à 10,000 au dessous de la congélation de l'eau, au lieu de de 1000, comme dans nos thermomètres ordinaires, on approcheroit beaucoup de la réalité, surtout en choisissant les jours de l'hiver les plus froids pour graduer le thermomètre ; chaque image du soleil lui donneroit un degré de chaleur au dessus de la température que nous supposerons à celui de la glace. Le point auquel s'éleveroit le mercure par la chaleur de la première image du soleil seroit marqué 1 ; le point où il s'éleveroit par la chaleur de deux images égales et réunies sera marqué 2 ; celui où trois images le feront monter sera marqué 3 ; et ainsi de suite, jusqu'à la plus grande hauteur, qu'on pourroit étendre jusqu'au degré 36. On auroit à ce degré une augmentation de chaleur trente-six fois plus grande que celle du premier degré, dix-huit fois plus grande que celle du second, douze fois plus grande que celle du troisième, neuf fois plus grande que celle du quatrième, etc. : cette augmentation 36

de chaleur au dessus de celle de la glace seroit assez grande pour fondre le plomb, et il y a toute apparence que le mercure, qui se volatilise à une bien moindre chaleur, feroit par sa vapeur casser le thermomètre. On ne pourra donc étendre la division que jusqu'à 12, et peut-être même à 9 degrés, si l'on se sert de mercure pour ces thermomètres; et l'on n'aura par ce moyen que les degrés d'une augmentation de chaleur jusqu'à 9. C'est une des raisons qui avoient déterminé Newton à se servir d'huile de lin au lieu de mercure; et en effet, on pourra, en se servant de cette liqueur, étendre la division non seulement à 12 degrés, mais jusqu'au point de cette huile bouillante. Je ne propose pas de remplir ces thermomètres avec de l'esprit-de-vin coloré; il est universellement reconnu que cette liqueur se décompose au bout d'un assez petit temps[1], et que d'ailleurs elle ne peut servir aux expériences d'une chaleur un peu forte.

Lorsqu'on aura marqué sur l'échelle de ces thermomètres remplis d'huile ou de mercure les premières divisions 1, 2, 3, 4, etc., qui indiqueront le double, le triple, le quadruple, etc., des augmentations de la chaleur, il faudra chercher les parties aliquotes de chaque division : par exemple, les points de 1 $^1/_4$, 2 $^1/_4$, 3 $^1/_4$, etc., ou de 1 $^1/_2$, 2 $^1/_2$, 3 $^1/_2$, etc., et de 1 $^3/_4$, 2 $^3/_4$, 3 $^3/_4$, etc. ; ce que l'on obtiendra par un moyen facile qui sera de couvrir la moitié, ou le quart, ou les trois quarts de la superficie d'un des petits miroirs;

1. Plusieurs voyageurs m'ont écrit que les thermomètres à l'esprit-de-vin, de Réaumur, leur étoient devenus tout-à-fait inutiles, parce que cette liqueur se décolore et se charge d'une espèce de boue en assez peu de temps.

car alors l'image qu'il réfléchira ne contiendra que le quart, la moitié, ou les trois quarts de la chaleur que contient l'image entière; et par conséquent les divisions des parties aliquotes seront aussi exactes que celles des nombres entiers.

Si l'on réussit une fois à faire ce thermomètre réel, et que j'appelle ainsi parce qu'il marqueroit réellement la proportion de la chaleur, tous les autres thermomètres, dont les échelles sont arbitraires et différentes entre elles, deviendroient non seulement superflus, mais même nuisibles, dans bien des cas, à la précision des vérités physiques qu'on cherche par leur moyen. On peut se rappeler l'exemple que j'en ai donné, en parlant de l'estimation de la chaleur qui émane du globe de la terre, comparée à la chaleur qui nous vient du soleil.

5° Au moyen de ces miroirs brisés, on pourra aisément recueillir, dans leur entière pureté, les parties volatiles de l'or et de l'argent, et des autres métaux et minéraux; car en exposant au large foyer de ces miroirs une grande plaque de métal, comme une assiette ou un plat d'argent, on en verra sortir une fumée très abondante pendant un temps considérable, jusqu'au moment où le métal tombe en fusion; et, en ne donnant qu'une chaleur un peu moindre que celle qu'exige la fusion, on fera évaporer le métal au point d'en diminuer le poids assez considérablement. Je me suis assuré de ce premier fait, qui peut fournir des lumières sur la composition intime des métaux : j'aurois bien désiré recueillir cette vapeur abondante que le feu pur du soleil fait sortir du métal, mais je n'avois pas les instruments nécessaires; et je ne puis que re-

commander aux chimistes et aux physiciens de suivre cette expérience importante, dont les résultats seroient d'autant moins équivoques que la vapeur métallique est ici très pure; au lieu que, dans toute opération semblable qu'on voudroit faire avec le feu commun, la vapeur métallique seroit nécessairement mêlée d'autres vapeurs provenant des matières combustibles qui servent d'aliment à ce feu.

D'ailleurs ce moyen est peut-être le seul que nous ayons pour volatiliser les métaux fixes, tels que l'or et l'argent; car je présume que cette vapeur, que j'ai vue s'élever en si grande quantité de ces métaux échauffés au large foyer de mon miroir, n'est pas de l'eau, ni quelque autre liqueur, mais des parties mêmes du métal que la chaleur en détache en les volatilisant. On pourroit, en recevant ainsi les vapeurs pures des différents métaux, les mêler ensemble, et faire, par ce moyen, des alliages plus intimes et plus purs qu'on ne l'a fait par la fusion et par la mixtion de ces mêmes métaux fondus, qui ne se marient jamais parfaitement, à cause de l'inégalité de leur pesanteur spécifique, et de plusieurs autres circonstances qui s'opposent à l'intimité et à l'égalité parfaite du mélange. Comme les parties constituantes de ces vapeurs métalliques sont dans un état de division bien plus grande que dans l'état de fusion, elles se joindroient et se réuniroient de bien plus près et plus facilement. Enfin on arriveroit peut-être, par ce moyen, à la connoissance d'un fait général, et que plusieurs bonnes raisons me font soupçonner depuis long-temps : c'est qu'il y auroit pénétration dans tous les alliages faits de cette manière, et que leur pesanteur spécifique seroit toujours plus

grande que la somme des pesanteurs spécifiques des matières dont ils seroient composés; car la pénétration n'est qu'un degré plus grand d'intimité; et l'intimité, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus grande que les matières seront dans un état de division plus parfait.

En réfléchissant sur l'appareil des vaisseaux qu'il faudroit employer pour recevoir et recueillir ces vapeurs métalliques, il m'est venu une idée qui me paroît trop utile pour ne la pas publier; elle est aussi trop aisée à réaliser pour que les bons chimistes ne la saisissent pas : je l'ai même communiquée à quelques uns d'entre eux, qui m'en ont paru très satisfaits. Cette idée est de geler le mercure dans ce climat-ci, et avec un degré de froid beaucoup moindre que celui des expériences de Pétersbourg ou de Sibérie. Il ne faut pour cela que recevoir la vapeur du mercure, qui est le mercure même volatilisé par une très médiocre chaleur, dans une curcubite, ou dans un vase auquel on donnera un certain degré de froid artificiel : ce mercure en vapeur, c'est-à-dire extrêmement divisé, offrira à l'action de ce froid des surfaces si grandes et des masses si petites, qu'au lieu de 187 degrés de froid qu'il faut pour geler le mercure en masse, il n'en faudroit peut-être que 18 ou 20 degrés, peut-être même moins, pour le geler en vapeurs. Je recommande cette expérience importante à tous ceux qui travaillent de bonne foi à l'avancement des sciences.

Je pourrois ajouter à ces usages principaux du miroir d'Archimède plusieurs autres usages particuliers; mais j'ai cru devoir me borner à ceux qui m'ont paru les plus utiles et les moins difficiles à réduire en pra-

tique. Néanmoins je crois devoir joindre ici quelques expériences que j'ai faites sur la transmission de la lumière à travers les corps transparents, et donner en même temps quelques idées nouvelles sur les moyens d'apercevoir de loin les objets à l'œil simple, ou par le moyen d'un miroir semblable à celui dont les anciens ont parlé, par l'effet duquel on apercevoit du port d'Alexandrie les vaisseaux d'aussi loin que la courbure de la terre pouvoit le permettre.

Tous les physiciens savent aujourd'hui qu'il y a trois causes qui empêchent la lumière de se réunir dans un point lorsque ses rayons ont traversé le verre objectif d'une lunette ordinaire. La première est la courbure sphérique de ce verre, qui répand une partie des rayons dans un espace terminé par une courbe. La seconde est l'angle sous lequel nous paroît à l'œil simple l'objet que nous observons; car la largeur du foyer de l'objectif a toujours à très peu près pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc qui mesure cet angle. La troisième est la différente réfrangibilité de la lumière; car les rayons les plus réfrangibles ne se rassemblent pas dans le même lieu où se rassemblent les rayons les moins réfrangibles.

On peut remédier à l'effet de la première cause en substituant, comme Descartes l'a proposé, des verres elliptiques ou hyperboliques aux verres sphériques. On remédie à l'effet de la seconde par le moyen d'un second verre placé au foyer de l'objectif, dont le diamètre est à peu près égal à la largeur de ce foyer, et dont la surface est travaillée sur une sphère d'un rayon fort court. On a trouvé de nos jours le moyen de remédier à la troisième en faisant des lunettes qu'on ap-

pelle *achromatiques*, et qui sont composées de deux sortes de verres qui dispersent différemment les rayons colorés, de manière que la dispersion de l'un est corrigée par la dispersion de l'autre, sans que la réfraction générale moyenne, qui constitue la lunette, soit anéantie. Une lunette de trois pieds et demi de longueur, faite sur ce principe, équivaut, pour l'effet, aux anciennes lunettes de vingt-cinq pieds de longueur.

Au reste, le remède à l'effet de la première cause est demeuré tout-à-fait inutile jusqu'à ce jour, parce que l'effet de la dernière, étant beaucoup plus considérable, influe si fort sur l'effet total, qu'on ne pouvoit rien gagner à substituer des verres hyperboliques ou elliptiques à des verres sphériques, et que cette substitution ne pouvoit devenir avantageuse que dans le cas où l'on ne pourroit trouver le moyen de corriger l'effet de la différente réfrangibilité des rayons de la lumière. Il semble donc qu'aujourd'hui l'on feroit bien de combiner les deux moyens, et de substituer, dans les lunettes achromatiques, des verres elliptiques aux sphériques.

Pour rendre ceci plus sensible, supposons que l'objet qu'on observe soit un point lumineux sans étendue, tel qu'est une étoile fixe par rapport à nous; il est certain qu'avec un objectif, par exemple, de trente pieds de foyer, toutes les images de ce point lumineux s'étendront en forme de courbe au foyer de ce verre, s'il est travaillé sur une sphère, et qu'au contraire elles se réuniront en un point, si ce verre est hyperbolique : mais si l'objet qu'on observe a une certaine étendue, comme la lune, qui occupe environ un demi-degré

d'espace à nos yeux, alors l'image de cet objet occupera un espace d'environ trois pouces de diamètre au foyer de l'objectif de trente pieds; et l'aberration causée par la sphéricité produisant une confusion dans un point lumineux quelconque, elle la produit de même sur tous les points lumineux du disque de la lune, et par conséquent la défigure en entier. Il y auroit donc, dans tous les cas, beaucoup d'avantage à se servir de verres elliptiques ou hyperboliques pour de longues lunettes, puisqu'on a trouvé le moyen de corriger en grande partie le mauvais effet produit par la différente réfrangibilité des rayons.

Il suit de ce que nous venons de dire que, si l'on veut faire une lunette de trente pieds pour observer la lune et la voir en entier, le verre oculaire doit avoir au moins trois pouces de diamètre pour recueillir l'image entière que produit l'objectif à son foyer, et que, si on vouloit observer cet astre avec une lunette de soixante pieds, l'oculaire doit avoir au moins six pouces de diamètre, parce que la corde de l'arc qui mesure l'angle sous lequel nous paroît la lune est dans ce cas de trois pouces et de six pouces à peu près; aussi les astronomes ne font jamais usage de lunettes qui renferment le disque entier de la lune, parce qu'elles grossiroient trop peu : mais si on veut observer Vénus avec une lunette de soixante pieds, comme l'angle sous lequel elle nous paroît n'est que d'environ soixante secondes, le verre oculaire pourra n'avoir que quatre lignes de diamètre; et si on se sert d'un objectif de cent vingt pieds, un oculaire de huit lignes de diamètre suffiroit pour réunir l'image entière que l'objectif forme à son foyer.

De là on voit que quand même les rayons de lumière seroient également réfrangibles, on ne pourroit pas faire d'aussi fortes lunettes pour voir la lune en entier que pour voir les autres planètes, et que plus une planète est petite à nos yeux, et plus nous pouvons augmenter la longueur de la lunette avec laquelle on peut la voir en entier. Dès lors on conçoit bien que, dans cette même supposition des rayons également réfrangibles, il doit y avoir une certaine longueur déterminée, plus avantageuse qu'aucune autre pour telle ou telle planète, et que cette longueur de la lunette dépend non seulement de l'angle sous lequel la planète paroît à notre œil, mais encore de la quantité de lumière dont elle est éclairée.

Dans les lunettes ordinaires, les rayons de la lumière étant différemment réfrangibles, tout ce qu'on pourroit faire dans cette vue pour les perfectionner ne seroit pas fort avantageux, parce que, sous quelque angle que paroisse à notre œil l'objet ou l'astre que nous voulons observer, et quelque intensité de lumière qu'il puisse avoir, les rayons ne se rassembleront jamais dans le même endroit : plus la lunette sera longue, plus il y aura d'intervalle[1] entre le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets, et par conséquent plus sera confuse l'image de l'objet observé.

On ne peut donc perfectionner les lunettes par réfraction qu'en cherchant, comme on l'a fait, les moyens de corriger cet effet de la différente réfrangibilité, soit en composant la lunette de verres de

1. Cet intervalle est d'un pied sur vingt-sept de foyer.

différente densité, soit par d'autres moyens particuliers, et qui seroient différents selon les différents objets et les différentes circonstances. Supposons, par exemple, une courte lunette composée de deux verres, l'un convexe et l'autre concave des deux côtés; il est certain que cette lunette peut se réduire à une autre dont les deux verres soient plans d'un côté, et travaillés de l'autre côté sur des sphères dont le rayon seroit une fois plus court que celui des sphères sur lesquelles auroient été travaillés les verres de la première lunette. Maintenant, pour éviter une grande partie de l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, on peut faire cette seconde lunette d'une seule pièce de verre massif, comme je l'ai fait exécuter avec deux morceaux de verre blanc, l'un de deux pouces et demi de longueur, et l'autre d'un pouce et demi : mais alors la perte de la transparence est un plus grand inconvénient que celui de la différente réfrangibilité qu'on corrige par ce moyen; car ces deux petites lunettes massives de verre sont plus obscures qu'une petite lunette ordinaire du même verre et des mêmes dimensions : elles donnent, à la vérité, moins d'iris, mais elles n'en sont pas meilleures; et si on les faisoit plus longues toujours en verre massif, la lumière, après avoir traversé cette épaisseur de verre, n'auroit plus assez de force pour peindre l'image de l'objet à notre œil. Ainsi, pour faire des lunettes de dix ou vingt pieds, je ne vois que l'eau qui ait assez de transparence pour laisser paser la lumière sans l'éteindre en entier dans cette grande épaisseur : en employant donc de l'eau pour remplir l'intervalle entre l'objectif et l'oculaire, on diminuera en partie l'effet de la dif-

férente réfrangibilité[1], parce que celle de l'eau approche plus de celle du verre que celle de l'air ; et si on pouvoit, en chargeant l'eau de différents sels, lui donner le même degré de puissance réfringente qu'au verre, il n'est pas douteux qu'on ne corrigeât davantage, par ce moyen, l'effet de la différente réfrangibilité des rayons. Il s'agiroit donc d'employer une liqueur transparente qui auroit à peu près la même puissance réfrangible que le verre ; car alors il sera sûr que les deux verres, avec cette liqueur entre deux, corrigeront en partie l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, de la même façon qu'elle est corrigée dans la petite lunette massive dont je viens de parler.

Suivant les expériences de M. Bouguer, une ligne d'épaisseur de verre détruit $^2/_7$ de la lumière, et par conséquent la diminution s'en feroit dans la proportion suivante :

Épaisseurs, 1, 2, 3, 4, 5, 6 lignes;
Diminutions, $\frac{2}{7}$, $\frac{10}{49}$ $\frac{50}{343}$ $\frac{250}{2401}$ $\frac{1250}{16807}$, $\frac{6250}{117649}$;

en sorte que, par la somme de ces six termes, on trouveroit que la lumière, qui passe à travers six li-

1. M. de Lalande, l'un de nos plus savants astronomes, après avoir lu cet article, a bien voulu me communiquer quelques remarques qui m'ont paru très justes, et dont j'ai profité. Seulement je ne suis pas d'accord avec lui sur ces lunettes remplies d'eau ; il croit « qu'on diminueroit très peu la différente réfrangibilité, parce que l'eau disperse les rayons colorés d'une manière différente du verre, et qu'il y auroit des couleurs qui proviendroient de l'eau, et d'autres du verre. » Mais, en se servant du verre le moins dense, et en augmentant, par les sels, la densité de l'eau, on rapprocheroit de très peu leur puissance réfractive.

gnes de verre, auroit déjà perdu $\frac{102024}{117649}$, c'est-à-dire environ le $^{10}/_{11}$ de sa quantité. Mais il faut considérer que M. Bouguer s'est servi de verres bien peu transparents, puisqu'il a vu qu'une ligne d'épaisseur de ces verres détruisoit $^{2}/_{7}$ de la lumière. Par les expériences que j'ai faites sur différentes espèces de verre blanc, il m'a paru que la lumière diminuoit beaucoup moins. Voici ces expériences, qui sont assez faciles à faire, et que tout le monde est en état de répéter.

Dans une chambre obscure dont les murs étoient noircis, qui me servoit à faire mes expériences d'optique, j'ai fait allumer une bougie de cinq à la livre; la chambre étoit fort vaste, et la lumière de la bougie étoit la seule dont elle fût éclairée. J'ai d'abord cherché à quelle distance je pouvois lire un caractère d'impression, tel que celui de la gazette de Hollande, à la lumière de cette bougie, et j'ai trouvé que je lisois assez facilement ce caractère à vingt-quatre pieds quatre pouces de distance de la bougie. Ensuite, ayant placé devant la bougie, à deux pouces de distance, un morceau de verre provenant d'une glace de Saint-Gobin, réduite à une ligne d'épaisseur, j'ai trouvé que je lisois encore tout aussi facilement à vingt-deux pieds neuf pouces; et en substituant à cette glace d'une ligne d'épaisseur un autre morceau de deux lignes d'épaisseur et du même verre, j'ai lu aussi facilement à vingt-un pieds de distance de la bougie. Deux de ces mêmes glaces de deux lignes d'épaisseur, jointes l'une contre l'autre et mises devant la bougie, en ont diminué la lumière au point que je n'ai pu lire avec la même facilité qu'à dix-sept pieds et demi de distance de la bougie. Et enfin, avec trois glaces de deux lignes d'é-

paisseur chacune, je n'ai lu qu'à la distance de quinze pieds. Or, la lumière de la bougie diminuant comme le carré de la distance augmente, sa diminution auroit été dans la progression suivante, s'il n'y avoit point eu de glaces interposées.

	2	2	2	2	2
	$24\frac{1}{3}$.	$22\frac{3}{4}$.	21.	$17\frac{1}{2}$.	15
ou	$592\frac{1}{9}$.	$517\frac{9}{16}$.	441.	$306\frac{1}{4}$.	225

Donc les pertes de la lumière, par l'interposition des glaces, sont dans la progression suivante, $84\frac{79}{144}$. 151. 285 $^7/_9$. 367 $^1/_4$.

D'où l'on doit conclure qu'une ligne d'épaisseur de ce verre ne diminue la lumière que de $\frac{84}{592}$ ou d'environ $^1/_7$; que deux lignes d'épaisseur la diminuent de $\frac{151}{592}$, pas tout-à-fait de $^1/_4$; et trois glaces de deux lignes, de $\frac{367}{592}$, c'est-à-dire moins de $^2/_3$.

Comme ce résultat est très différent de celui de M. Bouguer, et que néanmoins je n'avois garde de douter de la vérité de ses expériences, je répétai les miennes en me servant de verre à vitre commun : je choisis des morceaux d'une épaisseur égale, de trois quarts de ligne chacun. Ayant lu de même à vingt-quatre pieds quatre pouces de distance de la bougie, l'interposition d'un de ces morceaux de verre me fit rapprocher à vingt-un pieds et demi; avec deux morceaux interposés et appliqués l'un sur l'autre, je ne pouvois plus lire qu'à dix-huit pieds un quart, et avec trois morceaux, à seize pieds : ce qui, comme l'on voit, se rapproche de la détermination de M. Bouguer; car la perte de la lumière, en traversant ce

verre de trois quarts de ligne, étant ici de 592 $^1/_4$ — 462 $^1/_4$ = 130, le résultat $\frac{130}{592\,^1/_4}$, ou $\frac{65}{296}$, ne s'éloigne pas beaucoup de $^3/_{14}$, à quoi l'on doit réduire les $^2/_7$ donnés par M. Bouguer pour une ligne d'épaisseur, parce que mes verres n'avoient que trois quarts de ligne, car 3 : 14 :: 65 : 303 $^1/_3$, terme qui ne diffère pas beaucoup de 296.

Mais avec du verre communément appelé *verre de Bohême*, j'ai trouvé, par les mêmes essais, que la lumière ne perdoit qu'un huitième en traversant une épaisseur d'une ligne, et qu'elle diminuoit dans la progression suivante :

Épaisseurs, 1, 2, 3, 4, 5, 6,.....n.

Diminutions, $\frac{1}{8}$. $\frac{7}{64}$. $\frac{49}{512}$. $\frac{343}{4096}$. $\frac{2401}{32768}$. $\frac{16807}{262164}$.

— 0 — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 n — 1

$$\text{ou.........}\quad \frac{7\quad 7\quad 7\quad 7\quad 7\quad 7\quad 7}{8.^1\ 8.^2\ 8.^3\ 8.^4\ 8.^5\ 8.^6\ 8.\ n}$$

Prenant la somme de ces termes, on aura le total de la diminution de la lumière à travers une épaisseur de verre d'un nombre donné de lignes ; par exemple, la somme des six premiers termes est $\frac{144495}{262164}$. Donc la lumière ne diminue que d'un peu plus de moitié en traversant une épaisseur de six lignes de verre de Bohême, et elle en perdroit encore moins si, au lieu de trois morceaux de deux lignes appliqués l'un sur l'autre, elle n'avoit à traverser qu'un seul morceau de six lignes d'épaisseur.

Avec le verre que j'ai fait fondre en masse épaisse, j'ai vu que la lumière ne perdoit pas plus à travers

quatre pouces et demi d'épaisseur de ce verre qu'à travers une glace de Saint-Gobin de deux lignes et demie d'épaisseur; il me semble donc qu'on pourroit en conclure que la transparence de ce verre étant à celle de cette glace comme 4 pouces $^1/_2$ sont à deux lignes $^1/_2$, ou 54 à 2 $^1/_2$, c'est-à-dire plus de vingt-une fois plus grande, on pourroit faire de très bonnes petites lunettes massives de cinq ou six pouces de longueur avec ce verre.

Mais pour des lunettes longues, on ne peut employer que de l'eau, et encore est-il à craindre que le même inconvénient ne subsiste; car quelle sera l'opacité qui résultera de cette quantité de liqueur que je suppose remplir l'intervalle entre les deux verres? Plus les lunettes seront longues, et plus on perdra de lumière; en sorte qu'il paroît, au premier coup d'œil, qu'on ne peut pas se servir de ce moyen, surtout pour les lunettes un peu longues; car, en suivant ce que dit M. Bouguer, dans son *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*, neuf pieds sept pouces d'eau de mer font diminuer la lumière dans le rapport de 14 à 5; ou, ce qui revient à peu près au même, supposons que dix pieds d'épaisseur d'eau diminuent la lumière dans le rapport de 3 à 1, alors vingt pieds d'épaisseur d'eau la diminueront dans le rapport de 9 à 1; trente pieds la diminueront dans celui de 27 à 1, etc. Il paroît donc qu'on ne pourroit se servir de ces longues lunettes pleines d'eau que pour observer le soleil, et que les autres astres n'auroient pas assez de lumière pour qu'il fût possible de les apercevoir à travers une épaisseur de vingt à trente pieds de liqueur intermédiaire.

Cependant, si l'on fait attention qu'en ne donnant qu'un pouce ou un pouce et demi d'ouverture à un objectif de trente pieds, on ne laisse pas d'apercevoir très nettement les planètes dans les lunettes ordinaires de cette longueur, on doit penser qu'en donnant un plus grand diamètre à l'objectif, on augmenteroit la quantité de lumière dans la raison du carré de ce diamètre, et par conséquent si un pouce d'ouverture suffit pour voir distinctement un astre dans une lunette ordinaire, $\sqrt{3}$ pouces d'ouverture, c'est-à-dire vingt-une lignes environ de diamètre, suffiront pour qu'on le voie aussi distinctement à travers une épaisseur de dix pieds d'eau; et qu'avec un verre de trois pouces de diamètre, on le verroit également à travers une épaisseur de vingt pieds; qu'avec un verre de $\sqrt{27}$ ou 5 pouces $^1/_4$ de diamètre, on le verroit à travers une épaisseur de trente pieds, et qu'il ne faudroit qu'un verre de neuf pouces de diamètre pour une lunette remplie de quarante pieds d'eau, et un verre de vingt-sept pouces pour une lunette de soixante pieds.

Il semble donc qu'on pourroit, avec espérance de réussir, faire construire une lunette sur ces principes; car, en augmentant le diamètre de l'objectif, on regagne en partie la lumière que l'on perd par le défaut de transparence de la liqueur.

On ne doit pas craindre que les objectifs, quelque grands qu'ils soient, fassent une trop grande partie de la sphère sur laquelle ils seront travaillés, et que par cette raison les rayons de la lumière ne puissent se réunir exactement; car, en supposant même ces objectifs sept ou huit fois plus grands que je ne les ai déterminés, ils ne feroient pas encore à beaucoup

près une assez grande partie de leur sphère pour ne pas réunir les rayons avec exactitude.

Mais ce qui ne me paroît pas douteux, c'est qu'une lunette construite de cette façon seroit très utile pour observer le soleil; car, en la supposant même longue de cent pieds, la lumière de cet astre ne seroit encore que trop forte après avoir traversé cette épaisseur d'eau, et on observeroit à loisir et aisément la surface de cet astre immédiatement, sans qu'il fût nécessaire de se servir de verres enfumés, ou d'en recevoir l'image sur un carton, avantage qu'aucune autre espèce de lunette ne peut avoir.

Il y auroit seulement quelque petite différence dans la construction de cette lunette solaire, si l'on veut qu'elle nous présente la face entière du soleil; car, en la supposant longue de cent pieds, il faudra, dans ce cas, que le verre oculaire ait au moins dix pouces de diamètre, parce que le soleil occupant plus d'un demi-degré céleste, l'image formée par l'objectif à son foyer à cent pieds aura au moins cette longueur de dix pouces, et que, pour la réunir tout entière, il faudra un oculaire de cette largeur, auquel on ne donneroit que vingt pouces de foyer pour le rendre aussi fort qu'il se pourroit. Il faudroit aussi que l'objectif, ainsi que l'oculaire, eût dix pouces de diamètre, afin que l'image de l'astre et l'image de l'ouverture de la lunette se trouvassent d'égale grandeur au foyer.

Quand même cette lunette que je propose ne serviroit qu'à observer exactement le soleil, ce seroit déjà beaucoup : il seroit, par exemple, fort curieux de pouvoir reconnoître s'il y a dans cet astre des par-

ties plus ou moins lumineuses que d'autres; s'il y a sur sa surface des inégalités, et de quelle espèce elles seroient; si les taches flottent sur sa surface[1], ou si elles y sont toutes constamment attachées, etc. La vivacité de sa lumière nous empêche de l'observer à l'œil simple, et la différente réfrangibilité de ses rayons rend son image confuse lorsqu'on la reçoit au foyer d'un objectif sur un carton; aussi la surface du soleil nous est-elle moins connue que celle des autres planètes. Cette différente réfrangibilité des rayons ne seroit pas, à beaucoup près, entièrement corrigée dans cette longue lunette remplie d'eau : mais si cette liqueur pouvoit, par l'addition des sels, être rendue aussi dense que le verre, ce seroit alors la même chose que s'il n'y avoit qu'un seul verre à traverser, et il me semble qu'il y auroit plus d'avantage à se servir de ces lunettes remplies d'eau que de lunettes ordinaires avec des verres enfumés.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il faut, pour observer le soleil, une lunette bien différente de celles dont on doit se servir pour les autres astres; et il est encore très certain qu'il faut, pour chaque planète, une lunette particulière et proportionnée à leur in-

1. M. de Lalande m'a fait sur ceci la remarque qui suit : « Il est constant, dit-il, qu'il n'y a sur le soleil que des taches qui changent de forme et disparoissent entièrement, mais qui ne changent point de place, si ce n'est par la rotation du soleil; sa surface est très unie et homogène. » Ce savant astronome pouvoit même ajouter que ce n'est que par le moyen de ces taches, toujours supposées fixes, qu'on a déterminé le temps de la révolution du soleil sur son axe : mais ce point d'astronomie physique ne me paroît pas encore absolument démontré; car ces taches, qui toutes changent de figures, pourroient bien aussi quelquefois changer de lieu.

tensité de lumière, c'est-à-dire à la quantité réelle de lumière dont elles nous paroissent éclairées. Dans toutes les lunettes, il faudroit donc l'objectif aussi grand et l'oculaire aussi fort qu'il est possible, et en même temps proportionner la distance du foyer à l'intensité de la lumière de chaque planète. Par exemple, Vénus et Saturne sont deux planètes dont la lumière est fort différente; lorsqu'on les observe avec la même lunette, on augmente également l'angle sous lequel on les voit: dès lors la lumière totale de la planète paroît s'étendre sur toute sa surface d'autant plus qu'on la grossit davantage; ainsi, à mesure qu'on agrandit son image, on la rend sombre, à peu près dans la proportion du carré de son diamètre : Saturne ne peut donc, sans devenir obscur, être observé avec une lunette aussi forte que Vénus. Si l'intensité de lumière de celle-ci permet de la grossir cent ou deux cents fois avant de devenir sombre, l'autre ne souffrira peut-être pas la moitié ou le tiers de cette augmentation sans devenir tout-à-fait obscure. Il s'agit donc de faire une lunette pour chaque planète, proportionnée à leur intensité de lumière; et, pour le faire avec plus d'avantage, il me semble qu'il n'y faut employer qu'un objectif d'autant plus grand, et d'un foyer d'autant moins long, que la planète a moins de lumière. Pourquoi jusqu'à ce jour n'a-t-on pas fait des objectifs de deux ou trois pieds de diamètre? L'aberration des rayons, causée par la sphéricité des verres, en est la seule cause; elle produit une confusion qui est comme le carré du diamètre de l'ouverture : et c'est par cette raison que les verres sphériques, qui sont très bons avec une petite ouverture, ne valent plus rien quand

on l'augmente; on a plus de lumière, mais moins de distinction et de netteté. Néanmoins les verres sphériques larges sont très bons pour faire des lunettes de nuit; les Anglois ont construit des lunettes de cette espèce, et ils s'en servent avec grand avantage pour voir de fort loin les vaisseaux dans une nuit obscure. Mais maintenant que l'on sait corriger en grande partie les effets de la différente réfrangibilité des rayons, il me semble qu'il faudroit s'attacher à faire des verres elliptiques ou hyperboliques, qui ne produiroient pas cette aberration causée par la sphéricité, et qui par conséquent pourroient être trois ou quatre fois plus larges que les verres sphériques. Il n'y a que ce moyen d'augmenter à nos yeux la quantité de lumière que nous envoient les planètes; car nous ne pouvons pas porter sur les planètes une lumière additionnelle, comme nous le faisons sur les objets que nous observons au microscope; mais il faut au moins employer le plus avantageusement qu'il est possible la quantité de lumière dont elles sont éclairées, en la recevant sur une surface aussi grande qu'il se pourra. Cette lunette hyperbolique, qui ne seroit composée que d'un seul grand verre objectif et d'un oculaire proportionné, exigeroit une matière de la plus grande transparence; on réuniroit, par ce moyen, tous les avantages possibles, c'est-à-dire ceux des lunettes achromatiques à celui des lunettes elliptiques ou hyperboliques, et l'on mettroit à profit toute la quantité de lumière que chaque planète réfléchit à nos yeux. Je puis me tromper; mais ce que je propose me paroît assez fondé pour en recommander l'exécution aux personnes zélées pour l'avancement des sciences.

Me laissant aller à ces espèces de rêveries, dont quelques unes néanmoins se réaliseront un jour, et que je ne publie que dans cette espérance, j'ai songé au miroir du port d'Alexandrie, dont quelques auteurs anciens ont parlé, et par le moyen duquel on voyoit de très loin les vaisseaux en pleine mer. Le passage le plus positif qui me soit tombé sous les yeux est celui que je vais rapporter : « Alexandria..... in » pharo verò erat speculum è ferro *sinico*, per quod » à longè videbantur naves Græcorum advenientes; » sed paulò postquam islamismus invaluit, scilicet » tempore califatûs Validi, filii Abdulmelec, Christiani, fraude adhibitâ, illud deleverunt [1]. »

J'ai pensé, 1° que ce miroir par lequel on voyoit de loin les vaisseaux arriver, n'étoit pas impossible; 2° que même, sans miroir ni lunette, on pourroit, par de certaines dispositions, obtenir le même effet, et voir depuis le port des vaisseaux peut-être d'aussi loin que la courbure de la terre le permet. Nous avons dit que les personnes qui ont bonne vue aperçoivent les objets éclairés par le soleil à plus de trois mille quatre cents fois leur diamètre, et en même temps nous avons remarqué que la lumière intermédiaire nuisoit si fort à celle des objets éloignés, qu'on aperçoit la nuit un objet lumineux de dix, vingt, et peut-être cent fois plus de distance qu'on ne le voit pendant le jour. Nous savons que du fond d'un puits très profond l'on voit des étoiles en plein jour [2] : pourquoi donc ne verroit-on pas de même les

1. Abulfeda, etc., *Descriptio Ægypti.*

2. Aristote est, je crois, le premier qui ait fait mention de cette observation, et j'en ai cité le passage à l'article *du Sens de la vue.*

vaisseaux éclairés des rayons du soleil, en se mettant au fond d'une longue galerie fort obscure, et située sur le bord de la mer, de manière qu'elle ne recevroit aucune lumière que celle de la mer lointaine et des vaisseaux qui pourroient s'y trouver? Cette galerie n'est qu'un puits horizontal qui feroit le même effet pour la vue des vaisseaux que le puits vertical pour la vue des étoiles; et cela me paroît si simple, que je suis étonné qu'on n'y ait pas songé. Il me semble qu'en prenant, pour faire l'observation, les heures du jour où le soleil seroit derrière la galerie, c'est-à-dire le temps où les vaisseaux seroient bien éclairés, on les verroit du fond de cette galerie obscure dix fois au moins mieux qu'on ne peut les voir en pleine lumière. Or, comme nous l'avons dit, on distingue aisément un homme ou un cheval à une lieue de distance, lorsqu'ils sont éclairés des rayons du soleil; et en supprimant la lumière intermédiaire qui nous environne et offusque nos yeux, nous les verrions au moins dix fois plus loin, c'est-à-dire à dix lieues: donc on verroit les vaisseaux, qui sont beaucoup plus gros, d'aussi loin que la courbure de la terre le permettroit[1], sans autre instrument que nos yeux.

Mais un miroir concave d'un assez grand diamètre

1. La courbure de la terre pour un degré, ou vingt-cinq lieues de 2283 toises, est de 2988 pieds; elle croît comme le carré des distances; ainsi, pour cinq lieues, elle est vingt-cinq fois moindre, c'est-à-dire d'environ cent vingt pieds. Un vaisseau qui a plus de cent vingt pieds de mâture peut donc être vu de cinq lieues, étant même au niveau de la mer; mais si on s'élevoit de cent vingt pieds au dessus du niveau de la mer, on verroit de cinq lieues le corps entier du vaisseau jusqu'à la ligne de l'eau, et, en s'élevant encore davantage, on pourroit apercevoir le haut des mâts de plus de dix lieues.

et d'un foyer quelconque, placé au fond d'un long tuyau noirci, feroit pendant le jour à peu près le même effet que nos grands objectifs de même diamètre et de même foyer feroient pendant la nuit; et c'étoit probablement un de ces miroirs concaves d'acier poli (*è ferro sinico*) qu'on avoit établi au port d'Alexandrie [1] pour voir de loin arriver les vaisseaux grecs. Au reste, si ce miroir d'acier ou de fer poli a réellement existé, comme il y a toute apparence, on ne peut refuser aux anciens la gloire de la première invention des télescopes; car ce miroir de métal poli ne pouvoit avoir d'effet qu'autant que la lumière réfléchie par sa surface étoit recueillie par un autre miroir concave placé à son foyer; et c'est en cela que consiste l'essence du télescope et la facilité de sa construction. Néanmoins cela n'ôte rien à la gloire du grand Newton, qui le premier a ressuscité cette invention, entièrement oubliée : il paroît même que ce sont ses belles découvertes sur la réfrangibilité des rayons de la lumière qui l'ont conduit à celle du télescope. Comme les rayons de la lumière sont, par leur nature, différemment réfrangibles, il étoit fondé à croire qu'il n'y avoit nul moyen de corriger cet effet; ou, s'il a entrevu ces moyens, il les a jugés si difficiles, qu'il a mieux aimé tourner ses vues d'un autre côté, et produire par le moyen de la réflexion des rayons les grands effets qu'il ne pouvoit obtenir par leur réfraction. Il a donc fait construire son télescope, dont l'effet est réellement bien supérieur à ce-

1. De temps immémorial, les Chinois, et surtout les Japonois, savent travailler et polir l'acier en grand et petit volume; et c'est ce qui m'a fait penser qu'on doit interpréter *è ferro sinico* par *acier poli.*

lui des lunettes ordinaires; mais les lunettes achromatiques, inventées de nos jours, sont aussi supérieures au télescope qu'il l'est aux lunettes ordinaires. Le meilleur télescope est toujours sombre en comparaison de la lunette achromatique, et cette obscurité dans les télescopes ne vient pas seulement du défaut de poli ou de la couleur du métal des miroirs, mais de la nature même de la lumière, dont les rayons, différemment réfrangibles, sont aussi différemment réflexibles, quoique en degrés beaucoup moins inégaux. Il reste donc, pour perfectionner les télescopes autant qu'ils peuvent l'être, à trouver le moyen de compenser cette différente réflexibilité, comme l'on a trouvé celui de compenser la différente réfrangibilité.

Après tout ce qui vient d'être dit, je crois qu'on sentira bien que l'on peut faire faire une très bonne lunette de jour sans employer ni verres ni miroirs, et simplement en supprimant la lumière environnante, au moyen d'un tuyau de cent cinquante ou deux cents pieds de long, et en se plaçant dans un lieu obscur où aboutiroit l'une des extrémités de ce tuyau. Plus la lumière du jour seroit vive, plus seroit grand l'effet de cette lunette si simple et si facile à exécuter. Je suis persuadé qu'on verroit distinctement à quinze et peut-être à vingt lieues les bâtiments et les arbres sur le haut des montagnes. La seule différence qu'il y ait entre ce long tuyau et la galerie obscure que j'ai proposée, c'est que le *champ*, c'est-à-dire l'espace vu, seroit bien plus petit, et précisément dans la raison du carré de l'ouverture du tuyau à celle de la galerie.

ARTICLE TROISIÈME.

Invention d'autres miroirs pour brûler à de moindres distances.

I. *Miroirs d'une seule pièce à foyer mobile.*

J'ai remarqué que le verre fait ressort, et qu'il peut plier jusqu'à un certain point; et comme, pour brûler à des distances un peu grandes, il ne faut qu'une légère courbure, et que toute courbure régulière y est à peu près également convenable, j'ai imaginé de prendre des glaces de miroir ordinaire, d'un pied et demi, de deux pieds, et trois pieds de diamètre, de les faire arrondir, et de les soutenir sur un cercle de fer bien égal et bien tourné, après avoir fait dans le centre de la glace un trou de deux ou trois lignes de diamètre pour y passer une vis[1] dont les pas sont très fins, et qui entre dans un petit écrou posé de l'autre côté de la glace. En serrant cette vis, j'ai courbé assez les glaces de trois pieds pour brûler depuis cinquante pieds jusqu'à trente, et les glaces de dix-huit pouces ont brûlé à vingt-cinq pieds; mais ayant répété plusieurs fois ces expériences, j'ai cassé les glaces de trois pieds et de deux pieds, et il ne m'en reste qu'une de dix-huit pouces, que j'ai gardée pour modèle de ce miroir[2].

1. Voyez les planches 1, fig. 8 et 10; et pl. 2, fig. 1.

2. Ces glaces de trois pieds ont mis le feu à des matières légères jusqu'à cinquante pieds de distance, et alors elles n'avoient plié que

Ce qui fait casser ces glaces si aisément c'est le trou qui est au milieu; elles se courberoient beaucoup plus sans se rompre s'il n'y avoit point de solution de continuité, et qu'on pût les presser également sur toute la surface. Cela m'a conduit à imaginer de les faire courber par le poids même de l'atmosphère; et pour cela il ne faut que mettre une glace circulaire sur une espèce de tambour de fer ou de cuivre, et ajouter à ce tambour une pompe pour en tirer de l'air : on fera de cette manière courber la glace plus ou moins, et par conséquent elle brûlera à de plus et moins grandes distances.

Il y auroit encore un autre moyen : ce seroit d'ôter l'étamage dans le centre de la glace, de la largeur de neuf ou dix lignes, façonner avec une molette cette partie du centre en portion de sphère, comme un verre convexe d'un pouce de foyer, mettre dans le tambour une petite mèche soufrée; il arriveroit que quand on présenteroit ce miroir au soleil, les rayons transmis à travers cette partie du centre de la glace et réunis au foyer d'un pouce allumeroient la mèche soufrée dans le tambour : cette mèche, en brûlant, absorberoit de l'air, et par conséquent le poids de l'atmosphère feroit plier la glace plus ou moins, selon que la mèche soufrée brûleroit plus ou moins de temps. Ce miroir seroit fort singulier, parce qu'il se courberoit de lui-même à l'aspect du soleil, sans qu'il fût nécessaire d'y toucher; mais l'usage n'en seroit pas facile, et c'est pour cette raison que je ne l'ai pas

d'une ligne $^5/_8$: pour brûler à quarante pieds, il falloit les faire plier de deux lignes; pour brûler à trente pieds, de deux lignes $^3/_4$; et c'est en voulant les faire brûler à vingt pieds qu'elles se sont cassées.

fait exécuter, la seconde manière étant préférable à tous égards.

Ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile peuvent servir à mesurer plus exactement que par aucun autre moyen, la différence des effets de la chaleur du soleil reçue dans des foyers plus ou moins grands. Nous avons vu que les grands foyers font toujours proportionnellement plus d'effet que les petits, quoique l'intensité de chaleur soit égale dans les uns et les autres : on auroit ici, en contractant successivement les foyers, toujours une égale quantité de lumière ou de chaleur, mais dans des espaces successivement plus petits; et au moyen de cette quantité constante, on pourroit déterminer, par l'expérience, le *minimum* de l'espace du foyer, c'est-à-dire l'étendue nécessaire pour qu'avec la même quantité de lumière on eût le plus grand effet : cela nous conduiroit en même temps à une estimation plus précise de la déperdition de la chaleur dans les autres substances, sous un même volume ou dans une égale étendue.

A cet usage près, il m'a paru que ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile étoient plus curieux qu'utiles : celui qui agit seul et se courbe à l'aspect du soleil, est assez ingénieusement conçu pour avoir place dans un cabinet de physique.

II. *Miroirs d'une seule pièce pour brûler très vivement à des distances médiocres et à de petites distances.*

J'ai cherché les moyens de courber régulièrement de grandes glaces; et, après avoir fait construire deux

fourneaux différents qui n'ont pas réussi, je suis parvenu à en faire un troisième[1], dans lequel j'ai courbé très régulièrement des glaces circulaires de trois, quatre, et quatre pieds et demi de diamètre; j'en ai même fait courber deux de cinquante-six pouces : mais quelque précaution qu'on ait prise pour laisser refroidir lentement ces grandes glaces de cinquante-six et cinquante-quatre pouces de diamètre, et pour les manier doucement, elles se sont cassées en les appliquant sur les moules sphériques que j'avois fait construire pour leur donner la forme régulière et le poli nécessaire; la même chose est arrivée à trois autres glaces de quarante-huit et cinquante pouces de diamètre, et je n'en ai conservé qu'une seule de quarante-six pouces et deux de trente-sept pouces. Les gens qui connoissent les arts n'en seront pas surpris : ils savent que les grandes pièces de verre exigent des précautions infinies pour ne pas se fêler au sortir du fourneau où on les laisse recuire et refroidir : ils savent que plus elles sont minces et plus elles sont sujettes à se fendre, non seulement par le premier coup de l'air, mais encore par ses impressions ultérieures. J'ai vu plusieurs de mes glaces courbées se fendre toutes seules au bout de trois, quatre, et cinq mois, quoiqu'elles eussent résisté aux premières impressions de l'air, et qu'on les eût placées sur des moules de plâtre bien séché, sur lesquels la surface concave de ces glaces portoit également partout; mais ce qui m'en a fait perdre un grand nombre, c'est le travail qu'il falloit faire pour leur donner une forme régulière. Ces glaces, que j'ai achetées toutes polies à la

1. Voyez la planche 1, fig. 1, 2, 3, 4, 5, et 6.

manufacture du faubourg Saint-Antoine, quoique choisies parmi les plus épaisses, n'avoient que cinq lignes d'épaisseur : en les courbant, le feu leur faisoit perdre en partie leur poli. Leur épaisseur d'ailleurs n'étoit pas bien égale partout, et néanmoins il étoit nécessaire, pour l'objet auquel je les destinois, de rendre les deux surfaces concave et convexe parfaitement concentriques, et par conséquent de les travailler avec des molettes convexes dans des moules creux, et des molettes concaves sur des moules convexes. De vingt-quatre glaces que j'avois courbées, et dont j'en avois livré quinze à feu M. Passemant pour les faire travailler par ses ouvriers, je n'en ai conservé que trois; toutes les autres, dont les moindres avoient au moins trois pieds de diamètre, se sont cassées, soit avant d'être travaillées, soit après. De ces trois glaces que j'ai sauvées, l'une a quarante-six pouces de diamètre, et les deux autres trente-sept pouces : elles étoient bien travaillées, leurs surfaces bien concentriques, et par conséquent l'épaisseur bien égale; il ne s'agissoit plus que de les étamer sur leur surface convexe, et je fis pour cela plusieurs essais et un assez grand nombre d'expériences qui ne me réussirent point. M. de Bernières, beaucoup plus habile que moi dans cet art de l'étamage, vint à mon secours, et me rendit en effet deux de mes glaces étamées; j'eus l'honneur d'en présenter au roi la plus grande, c'est-à-dire celle de quarante-six pouces, et de faire devant sa majesté les expériences de la force de ce miroir ardent qui fond aisément tous les métaux; on l'a déposé au château de la Muette, dans un cabinet qui est sous la direction du P. Noël : c'est

certainement le plus fort miroir ardent qu'il y ait en Europe[1]. J'ai déposé au Jardin du Roi, dans le Cabinet d'Histoire naturelle, la glace de trente-sept pouces de diamètre, dont le foyer est beaucoup plus court que celui du miroir de quarante-six pouces. Je n'ai pas encore eu le temps d'essayer la force de ce second miroir, que je crois aussi très bon. Je fis aussi, dans le temps, quelques expériences au château de la Muette, sur la lumière de la lune reçue par le miroir de quarante-six pouces, et réfléchie sur un thermomètre très sensible : je crus d'abord m'apercevoir de quelque mouvement; mais cet effet ne se soutint pas, et depuis je n'ai pas eu occasion de répéter l'expérience. Je ne sais même si l'on obtiendroit un degré de chaleur sensible en réunissant les foyers de plusieurs miroirs, et les faisant tomber ensemble sur un thermomètre aplati et noirci; car il se peut que la lune nous envoie du froid plutôt que du chaud, comme nous l'expliquerons ailleurs. Du reste, ces miroirs sont supérieurs à tous les miroirs de réflexion dont on avoit connoissance : ils servent aussi à voir en grand les petits tableaux, et à en distinguer toutes les beautés et tous les défauts; et si on en fait étamer de pareils dans leur concavité, ce qui seroit bien plus aisé que sur la convexité, ils serviroient à voir les plafonds et autres peintures qui sont trop grandes et trop perpendiculaires sur la tête pour pouvoir être regardées aisément.

1. On m'a dit que l'étamage de ce miroir, qui a été fait il y a plus de vingt ans, s'étoit gâté; il faudroit le remettre entre les mains de M. de Bernières, qui seul a le secret de cet étamage, pour le bien réparer.

Mais ces miroirs ont l'inconvénient commun à tous les miroirs de ce genre, qui est de brûler en haut; ce qui fait qu'on ne peut travailler de suite à leur foyer, et qu'ils deviennent presque inutiles pour toutes les expériences qui demandent une longue action du feu et des opérations suivies. Néanmoins, en recevant d'abord les rayons du soleil sur une glace plane de quatre pieds et demi de hauteur et d'autant de largeur qui les réfléchit contre ces miroirs concaves, ils sont assez puissants pour que cette perte, qui est de la moitié de la chaleur, ne les empêche pas de brûler très vivement à leur foyer, qui par ce moyen se trouve en bas comme celui des miroirs de réfraction, et auquel par conséquent on pourroit travailler de suite et avec une égale facilité; seulement il seroit nécessaire que la glace plane et le miroir concave fussent tous deux montés parallèlement sur un même support, où ils pourroient recevoir également les mêmes mouvements de direction et d'inclinaison, soit horizontalement, soit verticalement. L'effet que le miroir de quarante-six pouces de diamètre feroit en bas, n'étant que de moitié de celui qu'il produit en haut, c'est comme si la surface de ce miroir étoit réduite de moitié, c'est-à-dire comme s'il n'avoit qu'un peu plus de trente-deux pouces de diamètre au lieu de quarante-six; et cette dimension de trente-deux pouces de diamètre pour un foyer de six pieds ne laisse pas de donner une chaleur plus grande que celle des lentilles de Tschirnaüs ou du sieur Segard, dont je me suis autrefois servi, et qui sont les meilleures que l'on connoisse.

Enfin, par la réunion de ces deux miroirs, on au-

roit aux rayons du soleil une chaleur immense à leur foyer commun, surtout en le recevant en haut, qui ne seroit diminuée que de moitié en le recevant en bas, et qui par conséquent seroit beaucoup plus grande qu'aucune autre chaleur connue, et pourroit produire des effets dont nous n'avons aucune idée.

III. *Lentilles ou miroirs à l'eau.*

Au moyen des glaces courbées et travaillées régulièrement dans leur concavité, et sur leur convexité, on peut faire un miroir réfringent, en joignant par opposition deux de ces glaces, et en remplissant d'eau tout l'espace qu'elles contiennent.

Dans cette vue, j'ai fait courber deux glaces de trente-sept pouces de diamètre, et les ai fait user de huit à neuf lignes sur les bords pour les bien joindre. Par ce moyen, l'on n'aura pas besoin de mastic pour empêcher l'eau de fuir.

Au zénith du miroir, il faut pratiquer un petit goulot[1], par lequel on en remplira la capacité avec un entonnoir; et comme les vapeurs de l'eau échauffée par le soleil pourroient faire casser les glaces, on laissera ce goulot ouvert pour laisser échapper les vapeurs; et, afin de tenir le miroir toujours absolument plein d'eau, on ajustera dans ce goulot une petite bouteille pleine d'eau, et cette bouteille finira elle-même en haut par un goulot étroit, afin que, dans les différentes inclinaisons du miroir, l'eau qu'elle contiendra ne puisse pas se répandre en trop grande quantité.

1. Voyez la planche 2. fig. 8.

Cette lentille, composée de deux glaces de trente-sept pouces, chacune de deux pieds et demi de foyer, brûleroit à cinq pieds, si elle étoit de verre : mais l'eau ayant une moindre réfraction que le verre, le foyer sera plus éloigné ; il ne laissera pas néanmoins de brûler vivement : j'ai supputé qu'à la distance de cinq pieds et demi cette lentille à l'eau produiroit au moins deux fois autant de chaleur que la lentille du Palais-Royal, qui est de verre solide, et dont le foyer est à douze pieds.

J'avois conservé une assez forte épaisseur aux glaces, afin que le poids de l'eau qu'elles devoient renfermer ne pût en altérer la courbure : on pourroit essayer de rendre l'eau plus réfringente en y faisant fondre des sels ; comme l'eau peut successivement fondre plusieurs sels, et s'en charger en plus grande quantité qu'elle ne se chargeroit d'un seul sel, il faudroit en fondre de plusieurs espèces, et on rendroit par ce moyen la réfraction de l'eau plus approchante de celle du verre.

Tel étoit mon projet : mais, après avoir travaillé et ajusté ces glaces de trente-sept pouces, celle du dessous s'est cassée dès la première expérience ; et comme il ne m'en restoit qu'une, j'en ai fait le miroir concave de trente-sept pouces dont j'ai parlé dans l'article précédent.

Ces loupes composées de deux glaces sphériquement courbées et remplies d'eau brûleront en bas, et produiront de plus grands effets que les loupes de verre massif, parce que l'eau laisse passer plus aisément la lumière que le verre le plus transparent ; mais l'exécution ne laisse pas d'en être difficile, et demande

des attentions infinies. L'expérience m'a fait connoître qu'il falloit des glaces épaisses de neuf ou huit lignes au moins, c'est-à-dire des glaces faites exprès : car on n'en coule point aux manufactures d'aussi épaisses, à beaucoup près ; toutes celles qui sont dans le commerce n'ont qu'environ moitié de cette épaisseur. Il faut ensuite courber ces glaces dans un fourneau pareil à celui dont j'ai donné la figure *planches Ire et suivantes;* avoir attention de bien sécher le fourneau, de ne pas presser le feu, et d'employer au moins trente heures à l'opération. La glace se ramollira et pliera par son poids sans se dissoudre, et s'affaissera sur le moule concave qui lui donnera sa forme. On la laissera recuire et refroidir par degrés dans ce fourneau, qu'on aura soin de boucher au moment qu'on aura vu la glace bien affaissée partout également. Deux jours après, lorsque le fourneau aura perdu toute sa chaleur, on en tirera la glace, qui ne sera que légèrement dépolie ; on examinera, avec un grand compas courbe, si son épaisseur est à peu près égale partout ; et si cela n'étoit pas, et qu'il y eût dans de certaines parties de la glace une inégalité sensible, on commencera par l'atténuer avec une molette de même sphère que la courbure de la glace. On continuera de travailler de même les deux surfaces concave et convexe, qu'il faut rendre parfaitement concentriques, en sorte que la glace ait partout exactement la même épaisseur ; et pour parvenir à cette précision, qui est absolument nécessaire, il faudra faire courber de plus petites glaces de deux ou trois pieds de diamètre, en observant de faire ces petits moules sur un rayon de quatre ou cinq lignes plus long que ceux

du foyer de la grande glace. Par ce moyen on aura des glaces courbes dont on se servira, au lieu de molettes, pour travailler les deux surfaces concave et convexe, ce qui avancera beaucoup le travail : car ces petites glaces, en frottant contre la grande, l'useront, et s'useront également; et comme leur courbure est plus forte de quatre lignes, c'est-à-dire de moitié d'épaisseur de la grande glace, le travail de ces petites glaces, tant au dedans qu'au dehors, rendra concentriques les deux surfaces de la grande glace aussi précisément qu'il a été possible. C'est là le point le plus difficile ; et j'ai souvent vu que pour l'obtenir on étoit obligé d'user la glace de plus d'une ligne et demie sur chaque surface; ce qui la rendoit trop mince, et dès lors inutile, du moins pour notre objet. Ma glace de trente-sept pouces que le poids de l'eau, joint à la chaleur du soleil, a fait casser, avoit néanmoins, toute travaillée, plus de trois lignes et demie d'épaisseur; et c'est pour cela que je recommande de les tenir encore plus épaisses.

J'ai observé que ces glaces courbées sont plus cassantes que les glaces ordinaires; la seconde fusion ou demi-fusion que le verre éprouve pour se courber est peut-être la cause de cet effet, d'autant que, pour prendre la forme sphérique, il est nécessaire qu'il s'étende inégalement dans chacune de ses parties, et que leur adhérence entre elles change dans des proportions inégales, et même différentes pour chaque point de la courbe, relativement au plan horizontal de la glace, qui s'abaisse successivement pour prendre la courbe sphérique.

En général, le verre a du ressort, et peut plier sans

se casser, d'environ un pouce par pied, surtout quand il est mince; je l'ai même éprouvé sur des glaces de deux et trois lignes d'épaisseur, et de cinq pieds de hauteur : on peut les faire plier de plus de quatre pouces sans les rompre, surtout en ne les comprimant qu'en un sens; mais si on les courbe en deux sens à la fois, comme pour produire une surface sphérique, elles cassent à moins d'un demi-pouce par pied sous cette double flexion. La glace inférieure de ces lentilles à l'eau obéissant donc à la pression causée par le poids de l'eau, elle cassera ou prendra une plus forte courbure, à moins qu'elle ne soit fort épaisse, ou qu'elle ne soit soutenue par une croix de fer; ce qui fait ombre au foyer, et rend désagréable l'aspect de ce miroir. D'ailleurs le foyer de ces lentilles à l'eau n'est jamais franc, ni bien terminé, ni réduit à sa plus petite étendue; les différentes réfractions que souffre la lumière en passant du verre dans l'eau, et de l'eau dans le verre, causent une aberration des rayons beaucoup plus grande qu'elle ne l'est par une réfraction simple dans les loupes de verre massif. Tous ces inconvénients m'ont fait tourner mes vues sur les moyens de perfectionner les lentilles de verre, et je crois avoir enfin trouvé tout ce qu'on peut faire de mieux en ce genre, comme je l'expliquerai dans les paragraphes suivants.

Avant de quitter les lentilles à l'eau, je crois devoir encore proposer un moyen de construction nouvelle qui seroit sujette à moins d'inconvénients, et dont l'exécution seroit assez facile. Au lieu de courber, travailler, et polir de grandes glaces de quatre ou cinq pieds de diamètre, il ne faudroit que de petits morceaux carrés de deux pouces, qui ne coûteroient

presque rien, et les placer dans un châssis de fer traversé de verges minces de ce même métal, et ajustées comme les vitres en plomb. Ce châssis et ces verges de fer, auxquelles on donneroit la courbure sphérique et quatre pieds de diamètre, contiendroient chacun trois cent quarante-six de ces petits morceaux de deux pouces; et en laissant quarante-six pour l'équivalent de l'espace que prendroient les verges de fer, il y auroit toujours trois cents disques du soleil qui coïncideroient au même foyer, que je suppose à dix pieds; chaque morceau laisseroit passer un disque de deux pouces de diamètre, auquel, ajoutant la lumière des parties du carré circonscrit à ce cercle de deux pouces de diamètre, le foyer n'auroit à dix pieds que deux pouces et demi ou deux pouces trois quarts, si la monture de ces petites glaces étoit régulièrement exécutée. Or, en diminuant la perte que souffre la lumière en passant à travers l'eau et les doubles verres qui la contiennent, et qui seroit ici à peu près de moitié, on auroit encore au foyer de ce miroir, tout composé de facettes planes, une chaleur cent cinquante fois plus grande que celle du soleil. Cette construction ne seroit pas chère, et je n'y vois d'autre inconvénient que la fuite de l'eau qui pourroit percer par les joints des verges de fer qui soutiendroient les petits trapèzes de verre. Il faudroit prévenir cet inconvénient en pratiquant de petites rainures de chaque côté dans ces verges, et enduire ces rainures de mastic ordinaire des vitriers, qui est impénétrable à l'eau.

IV. *Lentilles de verre solide.*

J'ai vu deux de ces lentilles, celle du Palais-Royal, et celle du sieur Segard; toutes deux ont été tirées d'une masse de verre d'Allemagne, qui est beaucoup plus transparent que le verre de nos glaces de miroir: mais personne ne sait en France fondre le verre en larges masses épaisses, et la composition d'un verre transparent comme celui de Bohême, n'est connue que depuis peu d'années.

J'ai d'abord cherché les moyens de fondre le verre en masses épaisses, et j'ai fait en même temps différents essais pour avoir une matière bien transparente. M. de Romilly, qui, dans ce temps, étoit l'un des directeurs de la manufacture de Saint-Gobin, m'ayant aidé de ses conseils, nous fondîmes deux masses de verre d'environ sept pouces de diamètre sur cinq à six pouces d'épaisseur, dans des creusets à un fourneau où l'on cuisoit de la faïence au faubourg Saint-Antoine. Après avoir fait user et polir les deux surfaces de ces morceaux de verre pour les rendre parallèles, je trouvai qu'il n'y en avoit qu'un des deux qui fût parfaitement net. Je livrai le second morceau, qui étoit le moins parfait, à des ouvriers qui ne laissèrent pas que d'en tirer d'assez bons prismes de toute grosseur, et j'ai gardé pendant plusieurs années le premier morceau, qui avoit quatre pouces et demi d'épaisseur, et dont la transparence étoit telle, qu'en posant ce verre de quatre pouces et demi d'épaisseur sur un livre, on pouvoit lire à travers très aisément les caractères les plus petits et les écritures de l'encre la plus blanche.

Je comparai le degré de transparence de cette matière avec celle des glaces de Saint-Gobin, prises et réduites à différentes épaisseurs; un morceau de la matière de ces glaces, de deux pouces et demi d'épaisseur sur environ un pied de longueur et de largeur, que M. de Romilly me procura, étoit vert comme du marbre vert, et l'on ne pouvoit lire à travers : il fallut le diminuer de plus d'un pouce pour commencer à distinguer les caractères à travers son épaisseur, et enfin le réduire à deux lignes et demie d'épaisseur pour que sa transparence fût égale à celle de mon morceau de quatre pouces et demi d'épaisseur; car on voyoit aussi clairement les caractères du livre à travers ces quatre pouces et demi, qu'à travers la glace qui n'avoit que deux lignes et demie. Voici la composition de ce verre, dont la transparence est si grande :

Sable blanc cristallin, *une livre.*
Minium, ou chaux de plomb, *une livre.*
Potasse, *une demi-livre.*
Salpêtre, *une demi-once.*

Le tout mêlé et mis au feu suivant l'art.

J'ai donné à M. Cassini de Thury ce morceau de verre, dont on pouvoit espérer de faire d'excellents verres de lunette achromatique, tant à cause de sa très grande transparence que de sa force réfringente, qui étoit très considérable, vu la quantité de plomb qui étoit entrée dans sa composition; mais M. de Thury ayant confié ce beau morceau de verre à des ouvriers ignorants, ils l'ont gâté au feu, où ils l'ont

remis mal à propos. Je me suis repenti de ne l'avoir pas fait travailler moi-même; car il ne s'agissoit que de le trancher en lames, et la matière en étoit encore plus transparente et plus nette que celle *flint-glass* d'Angleterre, et elle avoit plus de force de réfraction.

Avec six cents livres de cette même composition, je voulois faire une lentille de vingt-six ou vingt-sept pouces de diamètre, et de cinq pieds de foyer. J'espérois pouvoir la fondre dans mon fourneau, dont à cet effet j'avois fait changer la disposition intérieure; mais je reconnus bientôt que cela n'étoit possible que dans les plus grands fourneaux de verrerie. Il me falloit une masse de trois pouces d'épaisseur sur vingt-sept ou vingt-huit pouces de diamètre, ce qui fait environ un pied cube de verre. Je demandai la liberté de la faire couler à mes frais à la manufacture de Saint-Gobin; mais les administrateurs de cet établissement ne voulurent pas me le permettre, et la lentille n'a pas été faite. J'avois supputé que la chaleur de cette lentille de vingt-sept pouces seroit à celle de la lentille du Palais-Royal comme 19 sont à 6; ce qui est un très grand effet, attendu la petitesse du diamètre de cette lentille, qui auroit eu onze pouces de moins que celle du Palais-Royal.

Cette lentille, dont l'épaisseur au point du milieu ne laisse pas d'être considérable, est néanmoins ce qu'on peut faire de mieux pour brûler à cinq pieds: on pourroit même en augmenter le diamètre; car je suis persuadé qu'on pourroit fondre et couler également des pièces plus larges et plus épaisses dans les fourneaux où l'on fond les grandes glaces, soit à

Saint-Gobin, soit à Rouelles en Bourgogne. J'observe seulement ici qu'on perdroit plus par l'augmentation de l'épaisseur qu'on ne gagneroit par celle de la surface du miroir, et que c'est pour cela que, tout compensé, je m'étois borné à vingt-six ou vingt-sept pouces.

Newton a fait voir que quand les rayons de lumière tomboient sur le verre sous un angle de plus de quarante-sept ou quarante-huit degrés, ils sont réfléchis au lieu d'être réfractés. On ne peut donc pas donner à un miroir réfringent un diamètre plus grand que la corde d'un arc de quarante-sept ou quarante-huit degrés de la sphère sur laquelle il a été travaillé. Ainsi, dans le cas présent, pour brûler à cinq pieds, la sphère ayant environ trente deux pieds de circonférence, le miroir ne peut avoir qu'un peu plus de quatre pieds de diamètre : mais, dans ce cas, il auroit le double d'épaisseur de ma lentille de vingt-six pouces ; et d'ailleurs les rayons trop obliques ne se réunissent jamais bien.

Ces loupes de verre solide sont, de tous les miroirs que je viens de proposer, les plus commodes, les plus solides, les moins sujets à se gâter, et même les plus puissants lorsqu'ils sont bien transparents, bien travaillés, et que leur diamètre est bien proportionné à la distance de leur foyer. Si l'on veut donc se procurer une loupe de cette espèce, il faut combiner ces différents objets, et ne lui donner, comme je l'ai dit, que vingt-sept pouces de diamètre pour brûler à cinq pieds, qui est une distance commode pour travailler de suite et fort à l'aise au foyer. Plus le verre sera transparent et pesant, plus seront grands les effets ; la

lumière passera en plus grande quantité en raison de la transparence, et sera d'autant moins dispersée, d'autant moins réfléchie, et par conséquent d'autant mieux saisie par le verre, et d'autant plus réfractée, qu'il sera plus massif, c'est-à-dire spécifiquement plus pesant. Ce sera donc un avantage que de faire entrer dans la composition de ce verre une grande quantité de plomb ; et c'est par cette raison que j'en ai mis moitié, c'est-à-dire autant de minium que de sable. Mais, quelque transparent que soit le verre de ces lentilles, leur épaisseur dans le milieu est non seulement un très grand obstacle à la transmission de la lumière, mais encore un empêchement aux moyens qu'on pourroit trouver pour fondre des masses aussi épaisses et aussi grandes qu'il le faudroit : par exemple, pour une loupe de quatre pieds de diamètre, à laquelle on donneroit un foyer de cinq ou six pieds, qui est la distance la plus commode, et à laquelle la lumière, plongeant avec moins d'obliquité, aura plus de force qu'à de grandes distances, il faudroit fondre une masse de verre de quatre pieds sur six pouces et demi ou sept pouces d'épaisseur, parce qu'on est obligé de la travailler et de l'user même dans la partie la plus épaisse. Or, il seroit très difficile de fondre et couler d'un seul jet ce gros volume, qui seroit, comme l'on voit, de cinq ou six pieds cubes; car les plus amples cuvettes des manufactures de glaces ne contiennent pas deux pieds cubes : les plus grandes glaces de soixante pouces sur cent vingt, en leur supposant cinq lignes d'épaisseur, ne font qu'un volume d'environ un pied cube trois quarts. L'on sera donc forcé de se réduire à ce moindre volume, et de n'em-

ployer en effet qu'un pied cube et demi, ou tout au plus un pied cube trois quarts de verre pour en former la loupe, et encore aura-t-on bien de la peine à obtenir des maîtres de ces manufactures de faire couler du verre à cette grande épaisseur, parce qu'ils craignent, avec quelque raison, que la chaleur trop grande de cette masse épaisse de verre ne fasse fondre ou boursoufler la table de cuivre sur laquelle on coule les glaces, lesquelles n'ayant au plus que cinq lignes d'épaisseur [1], ne communiquent à la table qu'une chaleur très médiocre en comparaison de celle que lui feroit subir une masse de six pouces d'épaisseur.

V. *Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible.*

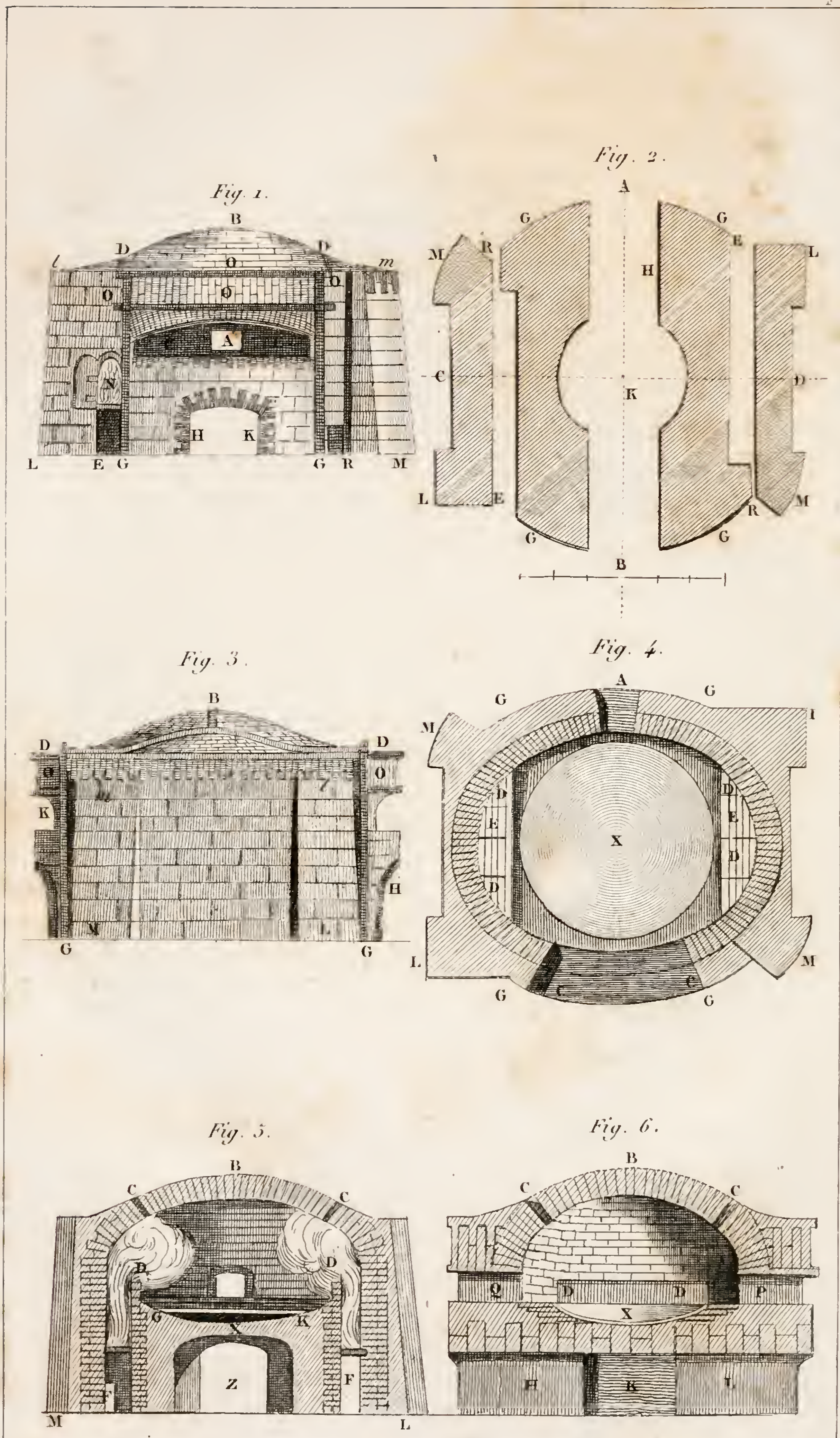
Je viens de dire que les fortes épaisseurs qu'on est obligé de donner aux lentilles lorsqu'elles ont un grand diamètre et un foyer court, nuisent beaucoup à leur effet : une lentille de six pouces d'épaisseur dans le milieu de la matière des glaces ordinaires ne brûle, pour ainsi dire, que par les bords. Avec du verre plus transparent, l'effet sera plus grand; mais

1. On a néanmoins coulé à Saint-Gobin, et à ma prière, des glaces de sept lignes, dont je me suis servi pour différentes expériences, il y a plus de vingt ans; j'ai remis dernièrement une de ces glaces de trente-huit pouces en carré et de sept lignes d'épaisseur, à M. de Bernières qui a entrepris de faire des loupes à l'eau pour l'Académie des Sciences, et j'ai vu chez lui des glaces de dix lignes d'épaisseur, qui ont été coulées de même à Saint-Gobin : cela doit faire présumer qu'on pourroit, sans aucun risque pour la table, en couler d'encore plus épaisses.

la partie du milieu reste toujours en pure perte, la lumière ne pouvant en pénétrer et traverser la trop grande épaisseur. J'ai rapporté les expériences que j'ai faites sur la diminution de la lumière qui passe à travers différentes épaisseurs du même verre; et l'on a vu que cette diminution est très considérable; j'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient, et j'ai trouvé une manière simple et assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs des lentilles autant qu'il me plaît, sans pour cela diminuer sensiblement leur diamètre et sans allonger leur foyer.

Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par échelons. Supposons, pour me faire mieux entendre, que je veuille diminuer de deux pouces l'épaisseur d'une lentille de verre qui a vingt-six pouces de diamètre, cinq pieds de foyer et trois pouces d'épaisseur au centre; je divise l'arc de cette lentille en trois parties, et je rapproche concentriquement chacune de ces portions d'arc, en sorte qu'il ne reste qu'un pouce d'épaisseur au centre, et je forme de chaque côté un échelon d'un demi-pouce, pour rapprocher de même les parties correspondantes : par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'extrémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons qui est à très peu près du même foyer, et qui a le même diamètre, et près de deux fois moins d'épaisseur que la première; ce qui est un très grand avantage.

Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de quatre pieds de diamètre sur deux pouces et demi d'épaisseur, et de la travailler par échelons sur un


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.

foyer de huit pieds, j'ai supputé qu'en laissant même un pouce et demi d'épaisseur au centre de cette lentille et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette lentille sera à celle de la lentille du Palais-Royal comme 28 sont à 6, sans compter l'effet de la différence des épaisseurs, qui est très considérable, et que je ne puis estimer d'avance.

Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on peut faire de plus parfait en ce genre; et quand même nous le réduirions à trois pieds de diamètre sur quinze lignes d'épaisseur au centre et six pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on auroit toujours un degré de chaleur quatre fois au moins plus grand que celui des plus fortes lentilles que l'on connoisse. J'ose dire que ce miroir à échelons seroit l'un des plus utiles instruments de physique; je l'ai imaginé il y a plus de vingt-cinq ans, et tous les savants auxquels j'en ai parlé désireroient qu'il fût exécuté : on en tireroit de grands avantages pour l'avancement des sciences; et, y adaptant un héliomètre, on pourroit faire à son foyer toutes les opérations de la chimie aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, etc.

Explication des figures qui représentent le fourneau dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire des miroirs ardents de différentes espèces.

Dans la planche 1, figure 1, est le plan du fourneau, au rez-de-chaussée, où l'on voit *AHKB* un vide qui sauve les inconvénients du

terre-plein sous l'âtre du fourneau ; ce vide est couvert d'une voûte, comme on le verra dans les figures suivantes :

ER les cendriers, disposés en sorte que l'ouverture de l'un est dans la face où se trouve le vent de l'autre.

LL deux contre-forts qui affermissent la maçonnerie du fourneau.

MM deux autres contre-forts, dont l'usage est le même que celui de ceux ci-dessus, et qui n'en diffèrent que parce qu'ils sont un peu arrondis.

GGGG plans de quatre barres de fer qui affermissent le fourneau, ainsi qu'il sera expliqué ci-après.

La figure 2 est l'élévation d'une des faces parallèles à la ligne *CD* du plan précédent.

HK l'ouverture pratiquée dans l'âtre du fourneau, afin qu'il ne s'y trouve point d'humidité.

CC la bouche ou grande ouverture du fourneau.

A la petite ouverture pratiquée dans la face opposée, laquelle est toute semblable à celle que la même planche représente, à cette différence près, que l'ouverture est plus petite.

Mm un des contre-forts arrondis, à côté duquel on voit le vent.

R ouverture par où l'air extérieur passe sous la grille du foyer.

E le cendrier, *N* le foyer, *P* la porte qui le ferme.

Ll un contre-fort carré.

GO, GO, deux des barres de fer scellées en terre, et qui sont unies à celles qui sont posées à l'autre face par les liens de fer *DD,* ainsi que l'on verra dans une des figures suivantes.

OO deux barres de fer qui unissent ensemble les deux barres *GO, GO,* et retiennent la voûte de l'ouverture *CC* qui est bombée.

mDBDl la voûte commune du fourneau et des foyers, dont la figure est ellipsoïde ; l'arrangement des briques et autres matériaux qui composent le fourneau se connoît aisément par la figure.

La figure 3 est la vue extérieure du fourneau par une des faces parallèles à la ligne *AB* du plan, fig. 1.

Ll, Mm, contre-forts.

HK extrémités de l'ouverture sous l'âtre du fourneau.

GOD, GOD, les barres de fer dont on a parlé, qui sont unies ensemble par le lien *DD.*

Les liens *DD* couchés sur la voûte *DBD* sont unis ensemble par un troisième lien de fer.

Les figures précédentes font connoître l'extérieur du fourneau. L'intérieur, plus intéressant, est représenté dans les planches suivantes.

La figure 4 est une coupe horizontale du fourneau par le milieu de la grande bouche.

X est l'âtre que l'on a rendu concave sphérique.

EE les deux grilles qui séparent le foyer du cendrier, et sur lesquelles on met le charbon : on a supposé que la voûte étoit transparente, pour mieux faire voir la direction des barreaux qui composent les grilles.

A la petite ouverture, *CC* la grande.

DD les marges; *LM*, *LM*, les contre-forts.

La figure 5 est la coupe verticale du fourneau suivant la ligne *CD* du plan, ou selon le grand axe de l'ellipsoïde dont la voûte a la figure.

Z le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *GK* qui a été arrondie est posée, et dont elle doit prendre exactement la figure, après qu'elle aura été ramollie par le feu.

FF les grilles ou foyer au dessous desquelles sont les cendriers.

DD les marges qui empêchent les bords de la glace du côté des foyers d'être trop tôt atteints par le feu.

CBC la voûte. *CC* lunettes que l'on ouvre ou ferme à volonté en les couvrant d'un carreau de terre cuite, *LM* contre-forts.

La figure 6 représente la coupe du fourneau par un plan vertical, qui passe par la ligne *AB* du plan,

HKL le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *X* est déjà appliquée.

DD une des marges, *P* la grande ouverture, *Q* la petite, *CC* lunettes.

CBC la voûte coupée transversalement ou selon le petit axe de l'ellipsoïde. On jugera de la grandeur de chaque partie de ce fourneau par les échelles qui sont au bas de chaque figure, qui ont été exactement levées sur le fourneau qui étoit au Jardin royal des Plantes, par M. Goussier.

Grand miroir de réflexion, appelé MIROIR D'ARCHIMÈDE.

Planche 2, figure 1. Ce miroir est composé de trois cent soixante glaces montées sur un châssis de fer *CDEF;* chaque glace est mobile, pour que les images réfléchies par chacune puissent être renvoyées vers le même point, et coïncider dans le même espace.

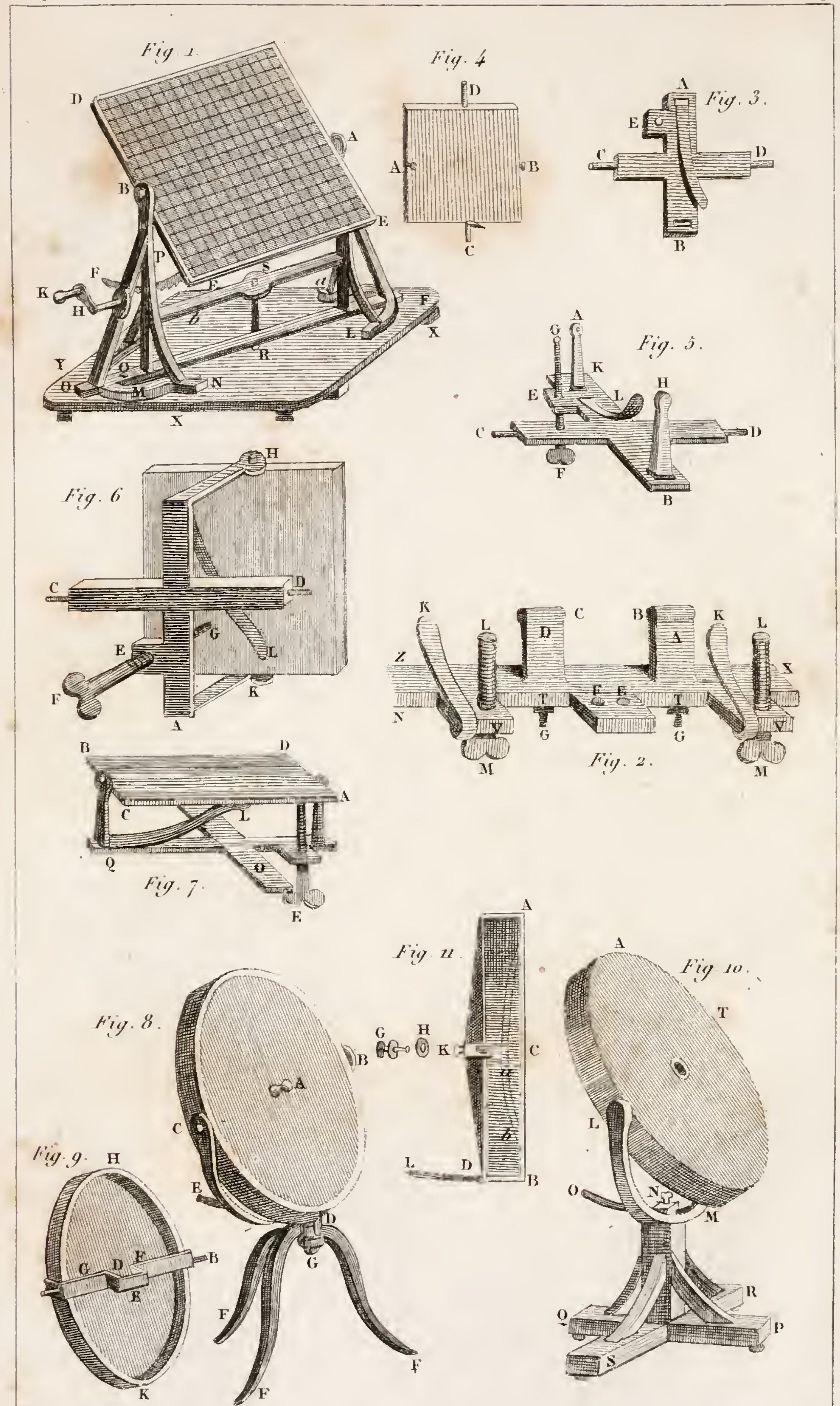
Le châssis, qui a deux tourillons, est porté par une pièce de fer composée de deux montants *MB, LA,* assemblés à tenons et mortoises dans la couche *ZO;* ils sont assujettis dans cette situation par la traverse *ab,* et par trois étais à chacun *N, Q, O,* fixés en *P* dans le corps du montant *MB,* et assemblés par le bas dans une courbe *NOQ* qui leur sert d'empatement; ces courbes ont des entailles qui reçoivent des roulettes, au moyen desquelles cette machine, quoique fort pesante, peut tourner librement sur le plancher de bois *XXY,* étant assujettie au centre de cette plate-forme par l'axe *RS* qui passe dans les deux traverses *ZO, ab;* chaque montant porte aussi à sa partie inférieure une roulette, en sorte que toute la machine est porté par dix roulettes : la plate-forme de bois est recouverte de bandes de fer dans la rouette des roulettes; sans cette attention la plate-forme ne seroit pas de longue durée.

La plate-forme est portée par quatre fortes roulettes de bois, dont l'usage est de faciliter le transport de toute la machine d'un lieu à un autre.

Pour pouvoir varier à volonté les inclinaisons du miroir, et pouvoir l'assujettir dans la situation que l'on juge à propos, on a adapté la crémaillère *F,* qui est unie avec des cercles; cette crémaillère est menée par un pignon en lanterne, dont la tige *H* traverse le montant et un des étais, et est terminée par une manivelle *K,* au moyen de laquelle on incline ou on redresse le miroir à discrétion.

Jusqu'à présent nous n'avons expliqué que la construction générale du miroir; reste à expliquer par quel artifice on parvient à faire que les images différentes, réfléchies par les différents miroirs, sont toutes renvoyées au même point, et c'est à quoi sont destinées les figures suivantes.

Figure 2. *XZ* une portion des barres qui occupent le derrière du miroir; ces barres sont au nombre de vingt, et disposées horizontalement, en sorte que leur plan est parallèle au plan du miroir; chacune de ces barres a dix-huit entailles *TT,* et le même nombre d'émi-



Panquet sc

nences *VVV* qui les séparent : ces barres sont assujetties aux côtés verticaux du châssis du miroir par des vis, et entre elles par trois ou quatre barres verticales, auxquelles elles sont assujetties par des vis. Vis-à-vis de chaque entaille *TT* il y a des poupées *TA, TD,* qui y sont fixées par les écrous *GG,* qui prennent la partie taraudée de la queue de la poupée, après qu'elle a traversé l'épaisseur de la barre ; les parties supérieures de chaque poupée, qui sont percées, servent de collets aux tourillons de la croix dont nous allons parler; cette croix, représentée figures 3 et 5, est un morceau de cuivre ou de fer, dont la figure fait connoître la forme.

CD les tourillons qui entrent dans les trous pratiqués à chaque poupée, en sorte qu'elle se peut mouvoir librement dans ces trous.

La vis *ML,* après avoir traversé l'éminence *V,* va s'appuyer en dessous contre l'extrémité inférieure *B* du croisillon *BA ;* en même temps le ressort *K* va s'appliquer contre l'autre extrémité *A* du même croisillon ; en sorte que lorsque l'on fait tourner la vis en montant, le ressort en se rétablissant fait que la partie *B* du croisillon se trouve toujours appliquée sur la pointe de la vis : il résulte de cette construction un mouvement de ginglyme ou charnière, dont l'axe est *BC,* figure 2.

Ce seul mouvement ne suffisant pas, on en a pratiqué un autre, dont l'axe de mouvement croise à angle droit le premier.

Aux deux extrémités *A* et *B* du croisillon *AB,* on a adapté deux petites poupées *BH, AK,* figure 5, retenues, comme les précédentes, par des vis et des écrous.

Les trous *HA,* qui sont aux parties supérieures de ces poupées, reçoivent les tourillons *DC,* figure 4, d'une plaque de fer que nous avons appelée *porte-glace,* qui peut se mouvoir librement sur les poupées, et s'incliner à l'axe *CD* du premier mouvement par le moyen de la vis *FG,* pour laquelle on a réservé un bossage *E* dans le croisillon *AB,* afin de lui servir d'écrous dormants : cette vis s'applique par *E* contre la partie *DBC* du porte-glace, et force cette partie à monter lorsqu'on tourne la vis ; mais lorsqu'on vient à lâcher cette vis, le ressort *L* qui s'applique contre la partie *DAC* du porte-glace, la force à suivre toujours la pointe de la vis : au moyen de ces deux mouvements de ginglyme, on peut donner à la glace qui est reçue par les crochets *ACB* du porte-glace, telle direction que l'on souhaite, et par ce moyen faire coïncider l'image du soleil réfléchie par une glace, avec celle qui est réfléchie par une autre.

La figure 6 représente le porte-glace vu par derrière, où l'on voit la

vis *FEG* qui s'applique en *G* hors de l'axe de mouvement *HK*, et le ressort *L* qui s'applique en *L* de l'autre côté de l'axe de mouvement.

La figure 7 représente le porte-glace vu en dessus, et garni de la glace *ACBD*; le reste est expliqué dans les autres figures.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression d'une vis appliquée au centre.

La figure 8 représente le miroir monté sur son pied, *BDC* la fourchette qui porte le miroir; cette fourchette est mobile dans l'axe vertical, et est retenue sur le pied à trois branches *FFF* par l'écrou *G*.

DE le régulateur des inclinaisons.

A la tête de la vis placée au centre du miroir, rendu concave par son moyen.

La figure 9 représente le miroir vu par sa partie postérieure. *BC* les tourillons qui entrent dans les collets de la fourchette.

FG une barre de fer fixée sur l'anneau de même métal qui entoure la glace : cette barre sert de point d'appui à la vis *DE* qui comprime la glace.

BHCK l'anneau ou cercle de fer sur lequel la glace est appliquée; ce cercle doit être exactement plan et parfaitement circulaire : on couvre la partie sur laquelle la glace s'applique, avec de la peau, du cuir, ou de l'étoffe, pour que le contact soit plus immédiat, et que la glace ne soit point exposée à rompre.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression de l'atmosphère.

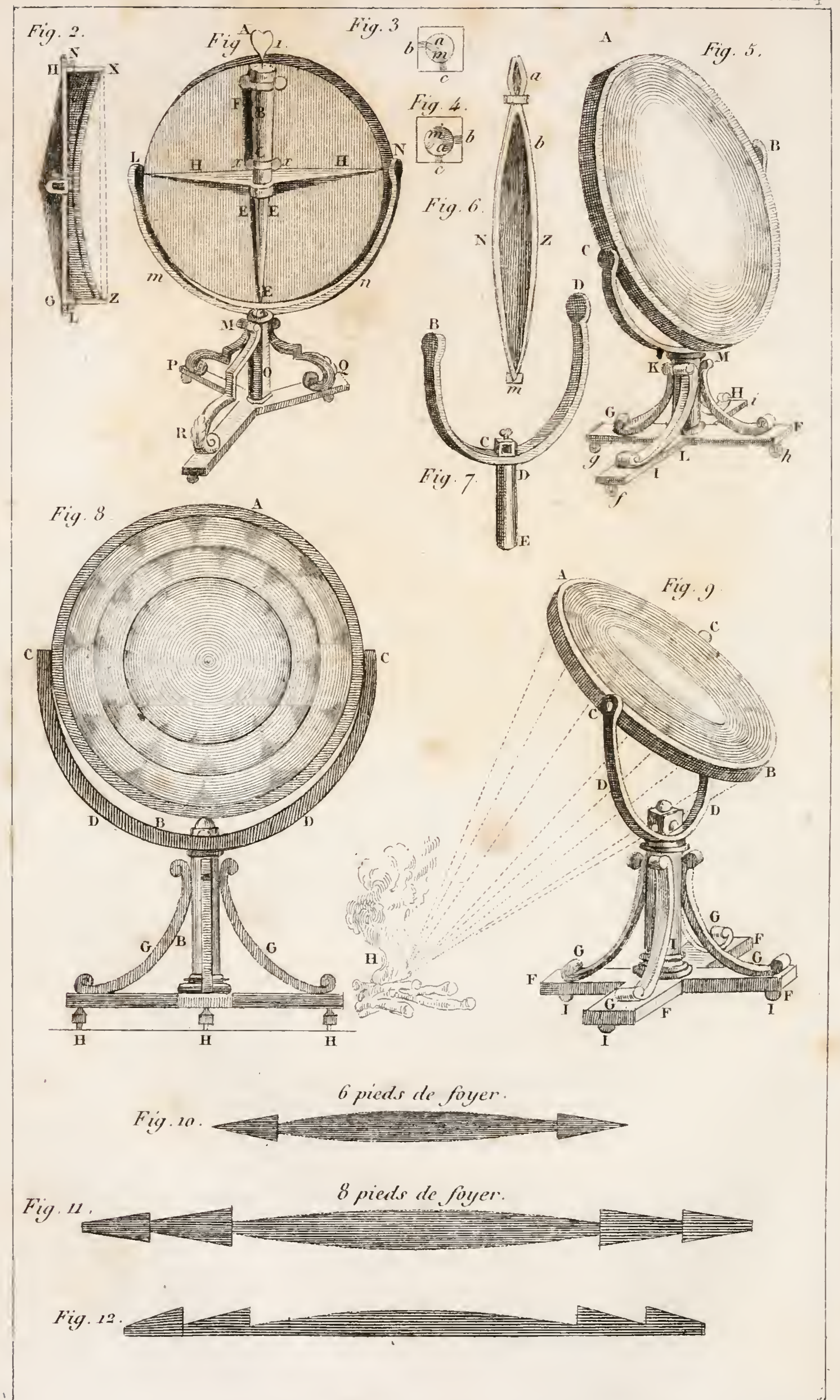
Figure 10. Ce miroir consiste en un tambour ou cylindre, dont une des bases est la glace, et l'autre une plaque de fer.

AB la glace parfaitement plane, *C* une lentille taillée dans l'épaisseur même de la glace.

BM la hauteur du cylindre aux extrémités du diamètre horizontal *TL*, duquel sortent deux tourillons, qui entrent dans les yeux de la fourchette, ainsi qu'il est expliqué en parlant du miroir de réfraction.

MO le régulateur des inclinaisons.

N le collet par lequel il passe, et la vis qui sert à l'y fixer.


Fig. 2.
Fig. 1.
Fig. 3
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 9
6 pieds de foyer.
Fig. 10.
8 pieds de foyer.
Fig. 11.
Fig. 12.

RSPQ le pied qui est semblable à celui du miroir de réfraction, à cette différence près, qu'il est de bois, et que les pièces ont un contour moins orné ; du reste sa fonction est la même.

Figure 11 est le profil du miroir coupé par un plan qui passe par l'axe du cylindre, et auquel on suppose que l'œil est perpendiculaire.

AB la glace dont on voit l'épaisseur.

C la lentille qui y est entaillée, et dont le foyer tombe sur le point *c*.

ED la base du cylindre, qui est une plaque de fer.

AE, BD, la hauteur et la coupe de la surface cylindrique.

Une mèche soufrée que l'on fait entrer dans la cavité du miroir, après avoir ôté la vis *K,* dont l'écrou est un cube solidement attaché à la plaque de fer qui sert de fond au miroir.

G la même vis représentée séparément; *H* une rondelle de cuir que l'on met entre la tête de la vis et son écrou pour fermer entièrement le passage à l'air.

abc la courbure que la glace prend, après que l'air que le cylindre contient a été consommé par la flamme de la bougie à laquelle la lentille *C* a mis le feu.

DEE le régulateur des inclinaisons, qui est assemblé à charnière au point *D*.

Autre miroir de réflexion.

Planche 3, figure 1. Il consiste aussi en un cylindre ou tambour de fer, dont une des bases est une glace parfaitement plane; la base opposée est une plaque de fer qui est fortifiée par les règles de fer posées de champ *EE, HH*. On vide l'air que le cylindre contient par la pompe *BC,* qui est affermie sur la plaque de fer par les collets *xx*.

A l'extrémité supérieure du piston.

E un cube de cuivre solidement fixé sur la plaque; ce cube est porté en travers pour recevoir le robinet *F,* au moyen duquel on ouvre ou on ferme la communication de l'intérieur du cylindre avec la pompe.

LN, mn, la fourchette sur laquelle le miroir est monté, et qui est mobile dans l'arbre *MO*.

PRQ le pied, qui a seulement trois branches; ce qui fait qu'il porte toujours à plomb, même sur un plan inégal.

La figure 2 représente le miroir coupé suivant la ligne *GH,* et duquel on suppose que l'on a pompé l'air.

XZ la glace que la pression de l'atmosphère a rendu concave.

HG la plaque de fer qui sert de fond au cylindre.

NL les tourillons.

FE le robinet.

Les figures 3 et 4 représentent en grand la coupe du cube dans lequel passe le robinet; ce cube est supposé coupé par un plan perpendiculaire à la plaque, et qui passe par la pompe.

c partie du canal coudé pratiqué dans le cube qui communique à l'intérieur du miroir.

b portion du même canal qui communique à la pompe.

a le robinet qui se trouve coupé perpendiculairement à son axe.

La figure 3 représente la situation du robinet lorsque la communication est ouverte; la portion *m* du canal se présente vis-à-vis les ouvertures *b*.

La figure 4 représente la situation du robinet lorsque la communication est fermée; alors la partie *m* du canal ne se présente plus vis-à-vis les mêmes ouvertures.

Lentille à l'eau.

Figure 5. Le miroir entier monté sur son pied.

ABMC le miroir composé de deux glaces convexes, assujetties l'une contre l'autre par le châssis ou cadre circulaire *ABMC*.

BC extrémités de la fourchette de fer qui porte ce miroir. Les extrémités de cette fourchette sont percées d'un trou cylindrique pour recevoir les tourillons dont le châssis du miroir est garni, et sur lesquels il se meut pour varier les inclinaisons.

BMC la fourchette.

KFIGH le pied qui porte le miroir; il est composé de plusieurs pièces.

KL l'arbre ou poinçon qui s'appuie par sa partie inférieure sur la croix *HI, FG;* il est fixé dans la situation verticale par les quatre étais ou jambes de force *KG, KH, KF, KI,* qui sont de fer, et auxquelles on a donné un contour agréable.

f, g, h, i, les roulettes.

Figure 6. Coupe ou profil du miroir dans laquelle on suppose que l'œil est placé dans le plan qui sépare les deux glaces.

XZ les deux glaces qui étant réunies forment une lentille.

bm coupe du châssis ou anneau qui retient les glaces unies ensemble ; cet anneau est composé de deux pièces qui s'assujettissent l'une à l'autre par des vis, et entre lesquelles les glaces sont mastiquées.

a une petite bouteille à deux cols, l'un desquels communique au vide que les deux glaces laissent entre elles par un canal pratiqué entre les deux glaces, et qui est entaillé moitié dans l'une et moitié dans l'autre.

Figure 7, *BDC* la fourchette de fer qui porte le miroir.

DE tige de la fourchette qui entre dans un trou vertical pratiqué à l'axe ou arbre *KL* du pied, en sorte que l'on peut présenter successivement la face du miroir à tous les points de l'horizon.

C collet dans lequel passe le régulateur des inclinaisons que l'on y fixe par une vis.

Lentille à échelons.

Figure 8. *AB* bordure circulaire pour contenir ce miroir à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés horizontalement a la partie supérieure de la fourchette *DD* : à sa partie inférieure tient une tige aussi de fer, que l'on ne voit point ici, étant entrée perpendiculairement, mais un peu à l'aise, dans l'arbre *E*, afin de pouvoir tourner à droite et à gauche.

L'arbre *B* est attaché solidement à son pied, qui est fait en croix, dont on ne peut voir ici que trois de ses côtés.

GGG jambages de force ou étais de fer pour la solidité.

HHH roulettes dessous les pieds pour ranger facilement ce miroir à la direction que l'on juge à propos.

La figure 9 représente ce même miroir à échelons en perspective, tourné vers le soleil pour mettre le feu.

AB bordure circulaire qui contient la glace à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés à la partie supérieure de la fourchette *DD*.

A la partie inférieure de la fourchette, qui est de fer, tient une tige cylindrique de même métal qui entre juste dans l'arbre, mais non trop serrée, pour qu'elle puisse avoir un jeu doux, propre à pouvoir tourner à droite ou à gauche pour la diriger comme on le désire.

E l'arbre dans lequel entre cette tige.

FFFF les quatre pieds en croix sur laquelle est attaché solidement l'arbre.

GGGG les quatre jambes de force, aussi de fer.
II le feu actif tiré du soleil par la construction de ce miroir.
III roulettes de dessous les pieds du porte-miroir.

Les figures 10, 11, 12, représentent les coupes de trois miroirs à échelons, dont le plus facile à exécuter seroit celui de la figure 10. Leur échelle est de six pouces de pied-de-roi pour pied-de-roi.

SEPTIÈME MÉMOIRE.

Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées.

Quoiqu'on se soit beaucoup occupé, dans ces derniers temps, de la physique des couleurs, il ne paroît pas qu'on ait fait de grands progrès depuis Newton : ce n'est pas qu'il ait épuisé la matière; mais la plupart des physiciens ont plus travaillé à le combattre qu'à l'entendre; et, quoique ses principes soient clairs et ses expériences incontestables, il y a si peu de gens qui se soient donné la peine d'examiner à fond les rapports et l'ensemble de ses découvertes, que je ne crois pas devoir parler d'un nouveau genre de couleurs, sans avoir auparavant donné des idées nettes sur la production des couleurs en général.

Il y a plusieurs moyens de produire des couleurs; le premier est la réfraction. Un trait de lumière qui passe à travers un prisme se rompt et se divise de façon qu'il produit une image colorée, composée d'un

nombre infini de couleurs ; et les recherches qu'on a faites sur cette image colorée du soleil, ont appris que la lumière de cet astre est l'assemblage d'une infinité de rayons de lumière différemment colorés ; que ces rayons ont autant de différents degrés de réfrangibilité que de couleurs différentes, et que la même couleur a constamment le même degré de réfrangibilité. Tous les corps diaphanes dont les surfaces ne sont pas parallèles produisent des couleurs par la réfraction ; l'ordre de ces couleurs est invariable, et leur nombre, quoiqu'infini, a été réduit à sept dénominations principales, *violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge* : chacune de ces dénominations répond à un intervalle déterminé dans l'image colorée, qui contient toutes les nuances de la couleur dénommée ; de sorte que, dans l'intervalle rouge, on trouve toutes les nuances de rouge, dans l'intervalle jaune toutes les nuances de jaune, etc., et dans les confins de ces intervalles les couleurs intermédiaires qui ne sont ni jaunes ni rouges, etc. C'est par de bonnes raisons que Newton a fixé à sept le nombre des dénominations des couleurs : l'image colorée du soleil, qu'il appelle le *spectre solaire*, n'offre à la première vue que cinq couleurs, violet, bleu, vert, jaune, et rouge ; ce n'est encore qu'une décomposition imparfaite de la lumière, et une représentation confuse des couleurs. Comme cette image est composée d'une infinité de cercles différemment colorés qui répondent à autant de disques du soleil, et que ces cercles anticipent beaucoup les uns sur les autres, le milieu de tous ces cercles est l'endroit où le mélange des couleurs est le plus grand, et il n'y a que les côtés recti-

lignes de l'image où les couleurs soient pures; mais, comme elles sont en même temps très foibles, on a peine à les distinguer, et on se sert d'un autre moyen pour épurer les couleurs : c'est en rétrécissant l'image du disque du soleil; ce qui diminue l'anticipation des cercles colorés les uns sur les autres, et par conséquent le mélange des couleurs. Dans ce spectre de lumière épurée et homogène, on voit très bien les sept couleurs : on en voit même beaucoup plus de sept avec un peu d'art; car en recevant successivement sur un fil blanc les différentes parties de ce spectre de lumière épurée, j'ai compté souvent jusqu'à dix-huit ou vingt couleurs dont la différence étoit sensible à mes yeux. Avec de meilleurs organes ou plus d'attention on pourroit encore en compter davantage : cela n'empêche pas qu'on ne doive fixer le nombre de leurs dénominations à sept, ni plus ni moins; et cela, par une raison bien fondée, c'est qu'en divisant le spectre de lumière épurée en sept intervalles, et suivant la proportion donnée par Newton, chacun de ces intervalles contient des couleurs qui, quoique prises toutes ensemble, sont indécomposables par le prisme et par quelque art que ce soit; ce qui leur a fait donner le nom de *couleurs primitives.* Si, au lieu de diviser le spectre en sept, on ne le divise qu'en six, ou cinq, ou quatre, ou trois intervalles, alors les couleurs contenues dans chacun de ces intervalles se décomposent par le prisme, et par conséquent ces couleurs ne sont pas pures, et ne doivent pas être regardées comme couleurs primitives. On ne peut donc pas réduire les couleurs primitives à moins de sept dénominations, et on ne doit pas en admettre un plus grand nombre,

parce qu'alors on diviseroit inutilement les intervalles en deux ou plusieurs parties, dont les couleurs seroient de la même nature, et ce seroit partager mal à propos une même espèce de couleur, et donner des noms différents à des choses semblables.

Il se trouve, par un hasard singulier, que l'étendue proportionnelle de ces sept intervalles de couleurs répond assez juste à l'étendue proportionnelle des sept tons de la musique; mais ce n'est qu'un hasard dont on ne doit tirer aucune conséquence : ces deux résultats sont indépendants l'un de l'autre; et il faut se livrer bien aveuglément à l'esprit de système pour prétendre, en vertu d'un rapport fortuit, soumettre l'œil et l'oreille à des lois communes, et traiter l'un de ces organes par les règles de l'autre, en imaginant qu'il est possible de faire un concert aux yeux ou un paysage aux oreilles.

Ces sept couleurs, produites par la réfraction, sont inaltérables, et contiennent toutes les couleurs et toutes les nuances de couleurs qui sont au monde : les couleurs du prisme, celles des diamants, celles de l'arc-en-ciel, des images des halos, dépendent toutes de la réfraction, et en suivent exactement les lois.

La réfraction n'est cependant pas le seul moyen pour produire des couleurs; la lumière a de plus que sa qualité réfrangible d'autres propriétés qui, quoique dépendantes de la même cause générale, produisent des effets différents; de la même façon que la lumière se rompt et se divise en couleurs en passant d'un milieu dans un autre milieu transparent, elle se rompt aussi en passant auprès des surfaces d'un corps opaque; cette espèce de réfraction qui se fait dans le même

milieu s'appelle *inflexion*, et les couleurs qu'elle produit sont les mêmes que celles de la réfraction ordinaire : les rayons violets, qui sont les plus réfrangibles, sont aussi les plus flexibles; et la frange colorée par l'inflexion de la lumière ne diffère du spectre coloré produit par la réfraction que dans la forme; et, si l'intensité des couleurs est différente, l'ordre en est le même, les propriétés toutes semblables, le nombre égal, la qualité primitive et inaltérable commune à toutes, soit dans la réfraction, soit dans l'inflexion, qui n'est en effet qu'une espèce de réfraction.

Mais le plus puissant moyen que la nature emploie pour produire des couleurs, c'est la réflexion[1]; tou-

1. J'avoue que je ne pense pas comme Newton, au sujet de la réflexibilité des différents rayons de la lumière. Sa définition de la réflexibilité n'est pas assez générale pour être satisfaisante : il est sûr que la plus grande facilité à être réfléchi est la même chose que la plus grande réflexibilité; il faut que cette plus grande facilité soit générale pour tous les cas : or qui sait si le rayon violet se réfléchit le plus aisément dans tous les cas, à cause que, dans un cas particulier, il rentre plus tôt dans le verre que les autres rayons? La réflexion de la lumière suit les mêmes lois que le rebondissement de tous les corps à ressort : de là on doit conclure que les particules de lumière sont élastiques, et par conséquent la réflexibilité de la lumière sera toujours proportionnelle à son ressort, et dès lors les rayons les plus réflexibles seront ceux qui auront plus de ressort; qualité difficile à mesurer dans la matière de la lumière, parce qu'on ne peut mesurer l'intensité d'un ressort que par la vitesse qu'il produit : il faudroit donc, pour qu'il fût possible de faire une expérience sur cela, que les satellites de Jupiter fussent illuminés successivement par toutes les couleurs du prisme, pour reconnoître par leurs éclipses s'il y auroit plus ou moins de vitesse dans le mouvement de la lumière violette que dans le mouvement de la lumière rouge; car ce n'est que par la comparaison de la vitesse de ces deux différents rayons qu'on peut savoir si l'un a plus de ressort que l'autre ou plus de réflexibilité. Mais on n'a jamais observé que les satellites, au moment de leur émersion, aient d'abord paru violets, et

tes les couleurs matérielles en dépendent ; le vermillon n'est rouge que parce qu'il réfléchit abondamment les rayons rouges de la lumière, et qu'il absorbe les autres; l'outremer ne paroît bleu que parce qu'il réfléchit fortement les rayons bleus, et qu'il reçoit dans ses pores tous les autres rayons qui s'y perdent. Il en est de même des autres couleurs des corps opaques et transparents; la transparence dépend de l'uniformité de densité : lorsque les parties composantes d'un corps sont d'égale densité, de quelque figure que soient ces mêmes parties, le corps sera toujours transparent. Si l'on réduit un corps transparent à une fort petite épaisseur, cette plaque mince produira des

ensuite éclairés successivement de toutes les couleurs du prisme; donc il est à présumer que les rayons de lumière ont à peu près tous un ressort égal, et par conséquant autant de réflexibilité. D'ailleurs le cas particulier où le violet paroît être plus réflexible ne vient que de la réfraction, et ne paroît pas tenir à la réflexion : cela est aisé à démontrer. Newton a fait voir, à n'en pouvoir douter, que les rayons différents sont inégalement réfrangibles ; que le rouge l'est le moins, et le violet le plus de tous : il n'est donc pas étonnant qu'à une certaine obliquité le rayon violet se trouvant, en sortant du prisme, plus oblique à la surface que tous les autres rayons, il soit le premier saisi par l'attraction du verre et contraint d'y rentrer, tandis que les autres rayons, dont l'obliquité est moindre, continuent leur route sans être assez attirés pour être obligés de rentrer dans le verre : ceci n'est donc pas, comme le prétend Newton, une vrai réflexion; c'est seulement une suite de la réfraction. Il me semble qu'il ne devoit donc pas assurer en général que les rayons les plus réfrangibles étoient les plus réflexibles. Cela ne me paroît vrai qu'en prenant cette suite de la réfraction pour une réflexion, ce qui n'en est pas une; car il est évident qu'une lumière qui tombe sur un miroir et qui en rejaillit en formant un angle de réflexion égal à celui d'incidence est dans un cas bien différent de celui où elle se trouve au sortir d'un verre si oblique à la surface qu'elle est contrainte d'y rentrer : ces deux phénomènes n'ont rien de commun, et ne peuvent, à mon avis, s'expliquer par la même cause.

couleurs dont l'ordre et les principales apparences sont fort différentes des phénomènes du spectre ou de la frange colorée : aussi ce n'est pas par la réfraction que ces couleurs sont produites, c'est par la réflexion. Les plaques minces des corps transparents, les bulles de savon, les plumes des oiseaux, etc., paroissent colorées parce qu'elles réfléchissent certains rayons, et laissent passer ou absorbent les autres ; ces couleurs ont leurs lois et dépendent de l'épaisseur de la plaque mince ; une certaine épaisseur produit constamment une certaine couleur, toute autre épaisseur ne peut la produire, mais en produit une autre : et lorsque cette épaisseur est diminuée à l'infini, en sorte qu'au lieu d'une plaque mince et transparente on n'a plus qu'une surface polie sur un corps opaque, ce poli, qu'on peut regarder comme le premier degré de la transparence, produit aussi des couleurs par la réflexion, qui ont encore d'autres lois; car lorsqu'on laisse tomber un trait de lumière sur un miroir de métal, ce trait de lumière ne se réfléchit pas tout entier sous le même angle, il s'en disperse une partie qui produit des couleurs dont les phénomènes, aussi bien que ceux des plaques minces, n'ont pas encore été assez observés.

Toutes les couleurs dont je viens de parler sont naturelles, et dépendent uniquement des propriétés de la lumière; mais il en est d'autres qui me paroissent accidentelles, et qui dépendent autant de notre organe que de l'action de la lumière. Lorsque l'œil est frappé ou pressé, on voit des couleurs dans l'obscurité ; lorsque cet organe est mal disposé ou fatigué, on voit encore des couleurs : c'est ce genre de couleurs que j'ai cru devoir appeler *couleurs accidentelles*,

pour les distinguer des couleurs naturelles, et parce qu'en effet elles ne paroissent jamais que lorsque l'organe est forcé ou qu'il a été trop fortement ébranlé.

Personne n'a fait, avant le docteur Jurin, la moindre observation sur ce genre de couleurs; cependant elles tiennent aux couleurs naturelles par plusieurs rapports, et j'ai découvert une suite de phénomènes singuliers sur cette matière, que je vais rapporter le plus succinctement qu'il me sera possible.

Lorsqu'on regarde fixement et long-temps une tache ou une figure rouge sur un fond blanc, comme un petit carré de papier rouge sur un papier blanc, on voit naître autour du petit carré rouge une espèce de couronne d'un vert foible : en cessant de regarder le carré rouge, si on porte l'œil sur le papier blanc, on voit très distinctement un carré d'un vert tendre, tirant un peu sur le bleu; cette apparence subsiste plus ou moins long-temps, selon que l'impression de la couleur rouge a été plus ou moins forte. La grandeur du carré vert imaginaire est la même que celle du carré réel rouge, et ce vert ne s'évanouit qu'après que l'œil s'est rassuré et s'est porté successivement sur plusieurs autres objets dont les images détruisent l'impression trop forte causée par le rouge

En regardant fixement et long-temps une tache jaune sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache une couronne d'un bleu pâle; et en cessant de regarder la tache jaune et portant son œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache bleue de la même figure et de la même grandeur que la tache jaune, et cette apparence dure au moins aussi long-temps que l'apparence du vert produit par

le rouge. Il m'a même paru, après avoir fait moi-même et après avoir fait répéter cette expérience à d'autres dont les yeux étoient meilleurs et plus forts que les miens, que cette impression du jaune étoit plus forte que celle du rouge, et que la couleur bleue qu'elle produit s'effaçoit plus difficilement et subsistoit plus long-temps que la couleur verte produite par le rouge; ce qui semble prouver ce qu'a soupçonné Newton, que le jaune est de toutes les couleurs celle qui fatigue le plus nos yeux.

Si l'on regarde fixement et long-temps une tache verte sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache verte une couleur blanchâtre, qui est à peine colorée d'une petite teinte de pourpre : mais en cessant de regarder la tache verte et en portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache d'un pourpre pâle, semblable à la couleur d'une améthyste pâle; cette apparence est plus foible et ne dure pas, à beaucoup près, aussi long-temps que les couleurs bleues et vertes produites par le jaune et par le rouge.

De même, en regardant fixement et long-temps une tache bleue sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache bleue une couronne blanchâtre un peu teinte de rouge; et en cessant de regarder la tache bleue, et portant l'œil sur le fond blanc, on voit une tache d'un rouge pâle, toujours de la même figure et de la même grandeur que la tache bleue, et cette apparence ne dure pas plus long-temps que l'apparence pourpre produite par la tache verte.

En regardant de même avec attention une tache noire sur un fond blanc, on voit naître autour de la

tache noire une couronne d'un blanc vif; et cessant de regarder la tache noire, et portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit la figure de la tache exactement dessinée et d'un blanc beaucoup plus vif que celui du fond : ce blanc n'est pas mat; c'est un blanc brillant, semblable au blanc du premier ordre des anneaux colorés décrits par Newton; et, au contraire, si on regarde long-temps une tache blanche sur un fond noir, on voit la tache blanche se décolorer; et en portant l'œil sur un autre endroit du fond noir, on y voit une tache d'un noir plus vif que celui du fond.

Voilà donc une suite de couleurs accidentelles, qui a des rapports avec la suite des couleurs naturelles : le rouge naturel produit le vert accidentel, le jaune produit le bleu, le vert produit le pourpre, le bleu produit le rouge, le noir produit le blanc, et le blanc produit le noir. Ces couleurs accidentelles n'existent que dans l'organe fatigué, puisqu'un autre œil ne les aperçoit pas : elles ont même une apparence qui les distingue des couleurs naturelles; c'est qu'elles sont tendres, brillantes, et qu'elles paroissent être à différentes distances, selon qu'on les rapporte à des objets voisins ou éloignés.

Toutes ces expériences ont été faites sur des couleurs mates avec des morceaux de papier ou d'étoffes colorées : mais elles réussissent encore mieux lorsqu'on les fait sur des couleurs brillantes, comme avec de l'or brillant et poli, au lieu de papier ou d'étoffe jaune; avec de l'argent brillant, au lieu de papier blanc; avec du lapis, au lieu de papier bleu, etc. : l'impression de ces couleurs brillantes est plus vive et dure beaucoup plus long-temps.

Tout le monde sait qu'après avoir regardé le soleil, on porte quelquefois pendant long-temps l'image colorée de cet astre sur tous les objets; la lumière trop vive du soleil produit en un instant ce que la lumière ordinaire des corps ne produit qu'au bout d'une minute ou deux d'application fixe de l'œil sur les couleurs. Ces images colorées du soleil, que l'œil ébloui et trop fortement ébranlé porte partout, sont des couleurs du même genre que celles que nous venons de décrire; et l'explication de leurs apparences dépend de la même théorie.

Je n'entreprendrai pas de donner ici les idées qui me sont venues sur ce sujet; quelque assuré que je sois de mes expériences, je ne suis pas assez certain des conséquences qu'on en doit tirer, pour oser rien hasarder encore sur la théorie de ces couleurs. Je me contenterai de rapporter d'autres observations qui confirment les expériences précédentes, et qui serviront sans doute à éclairer cette matière.

En regardant fixement et fort long-temps un carré d'un rouge vif sur un fond blanc, on voit d'abord naître la petite couronne de vert tendre dont j'ai parlé; ensuite, en continuant à regarder fixement le carré rouge, on voit le milieu du carré se décolorer, et les côtés se charger de couleur, et former comme un cadre d'un rouge plus fort et beaucoup plus foncé que le milieu; ensuite, en s'éloignant un peu et continuant à regarder toujours fixement, on voit le cadre de rouge foncé se partager en deux dans les quatre côtés, et former une croix d'un rouge aussi foncé : le carré rouge paroît alors comme une fenêtre traversée dans son milieu par une grosse croisée et quatre pan-

neaux blancs; car le cadre de cette espèce de fenêtre est d'un rouge aussi fort que la croisée. Continuant toujours à regarder avec opiniâtreté, cette apparence change encore, et tout se réduit à un rectangle d'un rouge si foncé, si fort, et si vif, qu'il offusque entièrement les yeux. Ce rectangle est de la même hauteur que le carré; mais il n'a pas la sixième partie de sa largeur : ce point est le dernier degré de fatigue que l'œil peut supporter; et lorsqu'enfin on détourne l'œil de cet objet, et qu'on le porte sur un autre endroit du fond blanc, on voit, au lieu du carré rouge réel, l'image du rectangle rouge imaginaire, exactement dessinée et d'une couleur verte brillante. Cette impression subsiste fort long-temps, ne se décolore que peu à peu; elle reste dans l'œil, même après l'avoir fermé. Ce que je viens de dire du carré rouge arrive aussi lorsqu'on regarde très long-temps un carré jaune ou noir, ou de toute autre couleur; on voit de même le cadre jaune ou noir, la croix et le rectangle; et l'impression qui reste est un rectangle bleu, si on a regardé le jaune; un rectangle blanc brillant, si on a regardé un carré noir, etc.

J'ai fait faire les expériences que je viens de rapporter, à plusieurs personnes; elles ont vu, comme moi, les mêmes couleurs et les mêmes apparences. Un de mes amis m'a assuré, à cette occasion, qu'ayant regardé un jour une éclipse de soleil par un petit trou, il avoit porté, pendant plus de trois semaines, l'image colorée de cet astre sur tous les objets; que quand il fixoit ses yeux sur du jaune brillant, comme sur une bordure dorée, il voyoit une tache pourpre; et sur du bleu, comme sur un toit d'ardoises, une tache

verte. J'ai moi-même souvent regardé le soleil, et j'ai vu les mêmes couleurs : mais je craignois de me faire mal aux yeux en regardant cet astre, j'ai mieux aimé continuer mes expériences sur des étoffes colorées; et j'ai trouvé qu'en effet ces couleurs accidentelles changent en se mêlant avec les couleurs naturelles, et qu'elles suivent les mêmes règles pour les apparences : car lorsque la couleur verte accidentelle, produite par le rouge naturel, tombe sur un fond rouge brillant, cette couleur verte devient jaune; si la couleur accidentelle bleue, produite par le jaune vif, tombe sur un fond jaune, elle devient verte : en sorte que les couleurs qui résultent du mélange de ces couleurs accidentelles avec les couleurs naturelles suivent les mêmes règles et ont les mêmes apparences que les couleurs naturelles dans leur composition et dans leur mélange avec d'autres couleurs naturelles.

Ces observations pourront être de quelque utilité pour la connoissance des incommodités des yeux, qui viennent probablement d'un grand ébranlement causé par l'impression trop vive de la lumière. Une de ces incommodités est de voir toujours devant ses yeux des taches colorées, des cercles blancs, ou des points noirs comme des mouches qui voltigent. J'ai ouï bien des personnes se plaindre de cette espèce d'incommodité; et j'ai lu dans quelques auteurs de médecine que la goutte sereine est toujours précédée de ces points noirs. Je ne sais pas si leur sentiment est fondé sur l'expérience, car j'ai éprouvé moi-même cette incommodité : j'ai vu des points noirs pendant plus de trois mois en si grande quantité, que j'en étois fort inquiet; j'avois apparemment fatigué mes yeux en fai-

sant et en répétant trop souvent les expériences précédentes, et en regardant quelquefois le soleil; car les points noirs ont paru dans ce même temps, et je n'en avois jamais vu de ma vie : mais enfin ils m'incommodoient tellement, surtout lorsque je regardois au grand jour des objets fortement éclairés, que j'étois contraint de détourner les yeux; le jaune surtout m'étoit insupportable, et j'ai été obligé de changer des rideaux jaunes dans la chambre que j'habitois, et d'en mettre de verts; j'ai évité de regarder toutes les couleurs trop fortes et tous les objets brillants. Peu à peu le nombre des points noirs a diminué, et actuellement je n'en suis plus incommodé. Ce qui m'a convaincu que ces points noirs viennent de la trop forte impression de la lumière, c'est qu'après avoir regardé le soleil j'ai toujours vu une image colorée que je portois plus ou moins long-temps sur tous les objets; et, suivant avec attention les différentes nuances de cette image colorée, j'ai reconnu qu'elle se décoloroit peu à peu, et qu'à la fin je ne portois plus sur les objets qu'une tache noire, d'abord assez grande, qui diminuoit ensuite peu à peu, et se réduisoit enfin à un point noir.

Je vais rapporter à cette occasion un fait qui est assez remarquable; c'est que je n'étois jamais plus incommodé de ces points noirs que quand le ciel étoit couvert de nuées blanches : ce jour me fatiguoit beaucoup plus que la lumière d'un ciel serein, et cela parce qu'en effet la quantité de lumière réfléchie par un ciel couvert de nuées blanches est beaucoup plus grande que la quantité de lumière réfléchie par l'air pur, et qu'à l'exception des objets éclairés immédia-

tement par les rayons du soleil, tous les autres objets qui sont dans l'ombre sont beaucoup moins éclairés que ceux qui le sont par la lumière réfléchie d'un ciel couvert de nuées blanches.

Avant que de terminer ce mémoire, je crois devoir encore annoncer un fait qui paroîtra peut-être extraordinaire, mais qui n'en est pas moins certain, et que je suis fort étonné qu'on n'ait pas observé; c'est que les ombres des corps, qui, par leur essence, doivent être noires, puisqu'elles ne sont que la privation de la lumière; que les ombres, dis-je, sont toujours colorées au lever et au coucher du soleil. J'ai observé, pendant l'été de l'année 1743, plus de trente aurores et autant de soleils couchants; toutes les ombres qui tomboient sur du blanc, comme sur une muraille blanche, étoient quelquefois vertes, mais le plus souvent bleues, et d'un bleu aussi vif que le plus bel azur. J'ai fait voir ce phénomène à plusieurs personnes qui ont été aussi surprises que moi. La saison n'y fait rien; car il n'y a pas huit jours (15 novembre 1743) que j'ai vu des ombres bleues : et quiconque voudra se donner la peine de regarder l'ombre de l'un de ses doigts, au lever ou au coucher du soleil, sur un morceau de papier blanc, verra comme moi cette ombre bleue. Je ne sache pas qu'aucun astronome, qu'aucun physicien, que personne, en un mot, ait parlé de ce phénomène, et j'ai cru qu'en faveur de la nouveauté on me permettroit de donner le précis de cette observation.

Au mois de juillet 1743, comme j'étois occupé de mes couleurs accidentelles, et que je cherchois à voir le soleil, dont l'œil soutient mieux la lumière à son

coucher qu'à toute autre heure du jour, pour reconnoître ensuite les couleurs, et les changements de couleurs causés par cette impression, je remarquai que les ombres des arbres qui tomboient sur une muraille blanche étoient vertes. J'étois dans un lieu élevé, et le soleil se couchoit dans une gorge de montagne, en sorte qu'il me paroissoit fort abaissé au dessous de mon horizon : le ciel étoit serein, à l'exception du couchant, qui, quoiqu'exempt de nuages, étoit chargé d'un rideau transparent de vapeurs d'un jaune rougeâtre, le soleil lui-même fort rouge, et sa grandeur apparente au moins quadruple de ce qu'elle est à midi. Je vis donc très distinctement les ombres des arbres qui étoient à vingt et trente pieds de la muraille blanche colorées d'un vert tendre tirant un peu sur le bleu; l'ombre d'un treillage qui étoit à trois pieds de la muraille étoit parfaitement dessinée sur cette muraille, comme si on l'avoit nouvellement peinte en vert-de-gris. Cette apparence dura près de cinq minutes, après quoi la couleur s'affoiblit avec la lumière du soleil, et ne disparut entièrement qu'avec les ombres. Le lendemain, au lever du soleil, j'allai regarder d'autres ombres sur une muraille blanche; mais au lieu de les trouver vertes, comme je m'y attendois, je les trouvai bleues, ou plutôt de la couleur de l'indigo le plus vif. Le ciel étoit serein, et il n'y avoit qu'un petit rideau de vapeurs jaunâtres au levant : le soleil se levoit sur une colline, en sorte qu'il me paroissoit élevé au dessus de mon horizon. Les ombres bleues ne durèrent que trois minutes, après quoi elles me parurent noires. Le même jour, je revis, au coucher du soleil, les ombres vertes, comme

je les avois vues la veille. Six jours se passèrent ensuite sans pouvoir observer les ombres au coucher du soleil, parce qu'il étoit toujours couvert de nuages. Le septième jour, je vis le soleil à son coucher; les ombres n'étoient plus vertes, mais d'un beau bleu d'azur: je remarquai que les vapeurs n'étoient pas fort abondantes, et que le soleil, ayant avancé pendant sept jours, se couchoit derrière un rocher qui le faisoit disparoître avant qu'il pût s'abaisser au dessous de mon horizon. Depuis ce temps, j'ai très souvent observé les ombres, soit au lever, soit au coucher du soleil, et je ne les ai vues que bleues, quelquefois d'un bleu fort vif, d'autres fois d'un bleu pâle, d'un bleu foncé, mais constamment bleues.

Ce mémoire a été imprimé dans ceux de l'Académie royale des Sciences, année 1743. Voici ce que je crois devoir y ajouter aujourd'hui (année 1773).

Des observations plus fréquentes m'ont fait reconnoître que les ombres ne paroissent jamais vertes au lever ou au coucher du soleil que quand l'horizon est chargé de beaucoup de vapeurs rouges; dans tout autre cas, les ombres sont toujours bleues, et d'autant plus bleues que le ciel est plus serein. Cette couleur bleue des ombres n'est autre chose que la couleur même de l'air; et je ne sais pourquoi quelques physiciens ont défini l'air *un fluide invisible, inodore, insipide*, puisqu'il est certain que l'azur céleste n'est autre chose que la couleur de l'air; qu'à la vérité il faut une grande épaisseur d'air pour que notre œil s'aperçoive de la couleur de cet élément; mais que néanmoins lorsqu'on regarde de loin des objets sombres, on les voit toujours plus ou moins bleus. Cette obser-

vation, que les physiciens n'avoient pas faite sur les ombres et sur les objets sombres vus de loin, n'avoit pas échappé aux habiles peintres, et elle doit en effet servir de base à la couleur des objets lointains, qui tous auront une nuance bleuâtre d'autant plus sensible qu'ils seront supposés plus éloignés du point de vue.

On pourra me demander comment cette couleur bleue, qui n'est sensible à notre œil que quand il y a une très grande épaisseur d'air, se marque néanmoins si fortement à quelques pieds de distance au lever et au coucher du soleil; comment il est possible que cette couleur de l'air, qui est à peine sensible à dix mille toises de distance, puisse donner à l'ombre noire d'un treillage qui n'est éloigné de la muraille blanche que de trois pieds une couleur du plus beau bleu : c'est en effet de la solution de cette question que dépend l'explication du phénomène. Il est certain que la petite épaisseur d'air qui n'est que de trois pieds entre le treillage et la muraille ne peut pas donner à la couleur noire de l'ombre une nuance aussi forte de bleu : si cela étoit, on verroit à midi et dans tous les autres temps du jour les ombres bleues comme on les voit au lever et au coucher du soleil. Ainsi cette apparence ne dépend pas uniquement, ni même presque point du tout, de l'épaisseur de l'air entre l'objet et l'ombre. Mais il faut considérer qu'au lever et au coucher du soleil, la lumière de cet astre étant affoiblie à la surface de la terre, autant qu'elle peut l'être par la plus grande obliquité de cet astre, les ombres sont moins denses, c'est-à-dire moins noires dans la même proportion, et qu'en même temps la

terre n'étant plus éclairée que par cette foible lumière du soleil, qui ne fait qu'en raser la superficie, la masse de l'air, qui est plus élevée, et qui par conséquent reçoit encore la lumière du soleil bien moins obliquement, nous renvoie cette lumière, et nous éclaire alors autant et peut-être plus que le soleil. Or cet air pur et bleu ne peut nous éclairer qu'en nous renvoyant une grande quantité de rayons de sa même couleur bleue; et lorsque ces rayons bleus, que l'air réfléchit, tomberont sur des objets privés de toute autre couleur comme les ombres, ils les teindront d'une plus ou moins forte nuance de bleu, selon qu'il y aura moins de lumière directe du soleil, et plus de lumière réfléchie de l'atmosphère. Je pourrois ajouter plusieurs autres choses qui viendroient à l'appui de cette explication; mais je pense que ce que je viens de dire est suffisant pour que les bons esprits l'entendent et en soient satisfaits.

Je crois devoir citer ici quelques faits observés par M. l'abbé Millot, ancien grand-vicaire de Lyon, qui a eu la bonté de me les communiquer par ses lettres des 18 août 1754 et 10 février 1755, dont voici l'extrait. « Ce n'est pas seulement au lever et au coucher du soleil que les ombres se colorent. A midi, le ciel étant couvert de nuages, excepté en quelques endroits, vis-à-vis d'une de ces ouvertures que laissoient entre eux les nuages, j'ai fait tomber des ombres d'un fort beau bleu sur du papier blanc, à quelques pas d'une fenêtre. Les nuages s'étant joints, le bleu disparut. J'ajouterai, en passant, que plus d'une fois j'ai vu l'azur du ciel se peindre comme dans un miroir, sur une muraille où la lumière tomboit obliquement.

Mais voici d'autres observations plus importantes, à mon avis; avant que d'en faire le détail, je suis obligé de tracer la topographie de ma chambre. Elle est à un troisième étage; la fenêtre près d'un angle au couchant, la porte presque vis-à-vis. Cette porte donne dans une galerie au bout de laquelle, à deux pas de distance, est une fenêtre située au midi. Les jours des deux fenêtres se réunissent, la porte étant ouverte, contre une des murailles; et c'est là que j'ai vu des ombres colorées presque à toute heure, mais principalement sur les dix heures du matin. Les rayons du soleil, que la fenêtre de la galerie reçoit encore obliquement, ne tombent point, par celle de la chambre, sur la muraille dont je viens de parler. Je place à quelques pouces de cette muraille des chaises de bois à dossier percé. Les ombres en sont alors de couleurs quelquefois très vives. J'en ai vu qui, quoique projetées du même côté, étoient l'une d'un vert foncé, l'autre d'un bel azur. Quand la lumière est tellement ménagée, que les ombres soient également sensibles de part et d'autre, celle qui est opposée à la fenêtre de la chambre est ou bleue ou violette; l'autre tantôt verte, tantôt jaunâtre. Celle-ci est accompagnée d'une espèce de pénombre bien colorée, qui forme comme une double bordure bleue d'un côté, et, de l'autre, verte ou rouge, ou jaune, selon l'intensité de la lumière. Que je ferme les volets de ma fenêtre, les couleurs de cette pénombre n'en ont souvent que plus d'éclat; elles disparoissent si je ferme la porte à moitié. Je dois ajouter que le phénomène n'est pas à beaucoup près si sensible en hiver. Ma fenêtre est au couchant d'été : je fis mes premières expériences dans

cette saison, dans un temps où les rayons du soleil tomboient obliquement sur la muraille qui fait angle avec celle où les ombres se coloroient. »

On voit par ces observations de M. l'abbé Millot qu'il suffit que la lumière du soleil tombe très obliquement sur une surface pour que l'azur du ciel, dont la lumière tombe toujours directement, s'y peigne et colore les ombres : mais les autres apparences dont il fait mention ne dépendent que de la position des lieux et d'autres circonstances accessoires.

HUITIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la pesanteur du feu, et sur la durée de l'incandescence.

Je crois devoir rappeler ici quelques unes des choses que j'ai dites dans l'introduction qui précède ces mémoires, afin que ceux qui ne les auroient pas bien présentes puissent néanmoins entendre ce qui fait l'objet de celui-ci. Le feu ne peut guère exister sans lumière et jamais sans chaleur, tandis que la lumière existe souvent sans chaleur sensible, comme la chaleur existe encore plus souvent sans lumière; l'on peut donc considérer la lumière et la chaleur comme deux propriétés du feu, ou plutôt comme les deux seuls effets par lesquels nous le reconnoissons : mais nous avons montré que ces deux effets ou ces deux

propriétés ne sont pas toujours essentiellement liés ensemble, que souvent ils ne sont ni simultanés ni contemporains, puisque, dans de certaines circonstances, on sent de la chaleur long-temps avant que la lumière paroisse, et que, dans d'autres circonstances, on voit de la lumière long-temps avant de sentir de la chaleur, et même souvent sans en sentir aucune, et nous avons dit que, pour raisonner juste sur la nature du feu, il falloit auparavant tâcher de reconnoître celle de la lumière et celle de la chaleur, qui sont les principes réels dont l'élément du feu nous paroît être composé.

Nous avons vu que la lumière est une matière mobile, élastique, et pesante, c'est-à-dire susceptible d'attraction, comme toutes les autres matières : on a démontré qu'elle est mobile, et même on a déterminé le degré de sa vitesse immense par le très petit temps qu'elle emploie à venir des satellites de Jupiter jusqu'à nous ; on a reconnu son élasticité, qui est presque infinie, par l'égalité de l'angle de son incidence et de celui de sa réflexion ; enfin sa pesanteur, ou, ce qui revient au même, son attraction vers les autres matières, est ausi démontrée par l'inflexion qu'elle souffre toutes les fois qu'elle passe auprès des autres corps. On ne peut donc pas douter que la substance de la lumière ne soit une vraie matière, laquelle, indépendamment de ses qualités propres et particulières, a aussi les propriétés générales et communes à toute autre matière. Il en est de même de la chaleur : c'est une matière qui ne diffère pas beaucoup de celle de la lumière ; et ce n'est peut-être que la lumière elle-même qui, quand elle est très forte ou réunie en

grande quantité, change de forme, diminue de vitesse, et, au lieu d'agir sur le sens de la vue, affecte les organes du toucher. On peut donc dire que, relativement à nous, la chaleur n'est que le toucher de la lumière, et qu'en elle-même la chaleur n'est qu'un des effets du feu sur les corps; effet qui se modifie suivant les différentes substances, et produit dans toutes une dilatation, c'est-à-dire une séparation de leurs parties constituantes : et lorsque, par cette dilatation ou séparation, chaque partie se trouve assez éloignée de ses voisines pour être hors de leur sphère d'attraction, les matières solides, qui n'étoient d'abord que dilatées par la chaleur, deviennent fluides, et ne peuvent reprendre leur solidité qu'autant que la chaleur se dissipe, et permet aux parties désunies de se rapprocher et se joindre d'aussi près qu'auparavant[1].

Ainsi toute fluidité a la chaleur pour cause, et toute dilatation dans les corps doit être regardée comme une fluidité commençante; or nous avons trouvé, par l'expérience, que les temps du progrès de la chaleur dans les corps, soit pour l'entrée, soit pour la sortie,

1. Je sais que quelques chimistes prétendent que les métaux rendus fluides par le feu ont plus de pesanteur spécifique que quand ils sont solides : mais j'ai de la peine à le croire; car il s'ensuivroit que leur état de dilatation, où cette pesanteur spécifique est moindre, ne seroit pas le premier degré de leur état de fusion, ce qui néanmoins paroît indubitable. L'expérience sur laquelle ils fondent leur opinion c'est que le métal en fusion supporte le même métal solide, et qu'on le voit nager à la surface du métal fondu; mais je pense que cet effet ne vient que de la répulsion causée par la chaleur, et ne doit point être attribué à la pesanteur spécifique plus grande du métal en fusion; je suis au contraire très persuadé qu'elle est moindre que celle du métal solide.

sont toujours en raison de leur fluidité ou de leur fusibilité, et il doit s'ensuivre que leurs dilatations respectives doivent être en même raison. Je n'ai pas eu besoin de tenter de nouvelles expériences pour m'assurer de la vérité de cette conséquence générale; M. Musschenbroëck en ayant fait de très exactes sur la dilatation de différents métaux, j'ai comparé ses expériences avec les miennes, et j'ai vu, comme je m'y attendois, que les corps les plus lents à recevoir et perdre la chaleur sont aussi ceux qui se dilatent le moins promptement, et que ceux qui sont les plus prompts à s'échauffer et à se refroidir sont ceux qui se dilatent le plus vite; en sorte qu'à commencer par le fer, qui est le moins fluide de tous les corps, et finir par le mercure, qui est le plus fluide, la dilatation dans toutes les différentes matières se fait en même raison que le progrès de la chaleur dans ces mêmes matières.

Lorsque je dis que le fer est le plus solide, c'est-à-dire le moins fluide de tous les corps, je n'avance rien que l'expérience ne m'ait jusqu'à présent démontré; cependant il pourroit se faire que la platine, comme je l'ai remarqué ci-devant, étant encore moins fusible que le fer, la dilatation y seroit moindre, et le progrès de la chaleur plus lent que dans le fer : mais je n'ai pu avoir de ce minéral qu'en grenaille; et pour faire l'expérience de la fusibilité et la comparer à celle des autres métaux, il faudroit en avoir une masse d'un pouce de diamètre, trouvée dans la mine même : toute la platine que j'ai pu trouver en masse a été fondue par l'addition d'autres matières, et n'est pas assez pure pour qu'on puisse s'en servir à des expé-

riences qu'on ne doit faire que sur des matières pures et simples; et celle que j'ai fait fondre moi-même sans addition étoit encore en trop petit volume pour pouvoir la comparer exactement.

Ce qui me confirme dans cette idée, que la platine pourroit être l'extrême en *non-fluidité* de toutes les matières connues, c'est la quantité de fer pur qu'elle contient, puisqu'elle est presque toute attirable par l'aimant : ce minéral, comme je l'ai dit, pourroit donc bien n'être qu'une matière ferrugineuse plus condensée et spécifiquement plus pesante que le fer ordinaire, intimement unie avec une grande quantité d'or, et par conséquent, étant moins fusible que le fer, recevroit encore plus difficilement la chaleur.

De même, lorsque je dis que le mercure est le plus fluide de tous les corps, je n'entends que les corps sur lesquels on peut faire des expériences exactes; car je n'ignore pas, puisque tout le monde le sait, que l'air ne soit encore beaucoup plus fluide que le mercure : et en cela même la loi que j'ai donnée sur le progrès de la chaleur est encore confirmée; car l'air s'échauffe et se refroidit, pour ainsi dire, en un instant; il se condense par le froid, et se dilate par la chaleur plus qu'aucun autre corps, et néanmoins le froid le plus excessif ne le condense pas assez pour lui faire perdre sa fluidité, tandis que le mercure perd la sienne à 187 degrés de froid au dessous de la congélation de l'eau, et pourroit la perdre à un degré de froid beaucoup moindre, si on le réduisoit en vapeur. Il subsiste donc encore un peu de chaleur au dessous de ce froid excessif de 187 degrés, et par conséquent le degré de la congélation de l'eau, que tous les con-

structeurs de thermomètres ont regardé comme la limite de la chaleur, et comme un terme où l'on doit la supposer égale à zéro, est, au contraire, un degré réel de l'échelle de la chaleur; degré où non seulement la quantité de chaleur subsistante n'est pas nulle, mais où cette quantité de chaleur est très considérable, puisque c'est à peu près le point milieu entre le degré de la congélation du mercure et celui de la chaleur nécessaire pour fondre le bismuth, qui est de 190 degrés, lequel ne diffère guère de 187 au dessus du terme de la glace que comme l'autre en diffère au dessous.

Je regarde donc la chaleur comme une matière réelle qui doit avoir son poids, comme toute autre matière, et j'ai dit en conséquence que, pour reconnoître si le feu a une pesanteur sensible, il faudroit faire l'expérience sur de grandes masses pénétrées de feu, et les peser dans cet état, et qu'on trouveroit peut-être une différence assez sensible pour qu'on en pût conclure la pesanteur du feu ou de la chaleur qui m'en paroît être la substance la plus matérielle : la lumière et la chaleur sont les deux éléments matériels du feu, ces deux éléments réunis ne sont que le feu même, et ces deux matières nous affectent chacune sous leur forme propre, c'est-à-dire d'une manière différente. Or, comme il n'existe aucune forme sans matière, il est clair que quelque subtile qu'on suppose la substance de la lumière, de la chaleur ou du feu, elle est sujette, comme toute autre matière, à la loi général de l'attraction universelle : car, comme nous l'avons dit, quoique la lumière soit douée d'un ressort presque parfait, et que par conséquent ses parties ten-

dent avec une force presque infinie à s'éloigner des corps qui la produisent, nous avons démontré que cette force expansive ne détruit pas celle de la pesanteur; on le voit par l'exemple de l'air, qui est très élastique, et dont les parties tendent avec force à s'éloigner les unes des autres, qui ne laisse pas d'être pesant. Ainsi la force par laquelle les parties de l'air ou du feu tendent à s'éloigner et s'éloignent en effet les unes des autres ne fait que diminuer la masse, c'est-à-dire la densité de ces matières, et leur pesanteur sera toujours proportionnelle à cette densité : si donc l'on vient à bout de reconnoître la pesanteur du feu par l'expérience de la balance, on pourra peut-être quelque jour en déduire la densité de cet élément, et raisonner ensuite sur la pesanteur et l'élasticité du feu avec autant de fondement que sur la pesanteur et l'élasticité de l'air.

J'avoue que cette expérience, qui ne peut être faite qu'en grand, paroît d'abord assez difficile, parce qu'une forte balance, et telle qu'il la faudroit pour supporter plusieurs milliers, ne pourroit être assez sensible pour indiquer une petite différence qui ne seroit que de quelques gros. Il y a ici, comme en tout, un *maximum* de précision qui, probablement, ne se trouve ni dans la plus petite ni dans la plus grande balance possible. Par exemple, je crois que, si dans une balance avec laquelle on peut peser une livre l'on arrive à un point de précision d'un douzième de grain, il n'est pas sûr qu'on pût faire une balance pour peser dix milliers, qui pencheroit aussi sensiblement pour une once trois gros quarante-un grains, ce qui est la différence proportionnelle de 1 à 10,000.

ou qu'au contraire, si cette grosse balance indiquoit clairement cette différence, la petite balance n'indiqueroit pas également bien celle d'un douzième de grain ; et que par conséquent nous ignorons quelle doit être pour un poids donné la balance la plus exacte.

Les personnes qui s'occupent de physique expérimentale devroient faire la recherche de ce problème, dont la solution, qu'on ne peut obtenir que par l'expérience, donneroit le *maximum* de précision de toutes les balances. L'un des plus grands moyens d'avancer les sciences, c'est d'en perfectionner les instruments. Nos balances le sont assez pour peser l'air : avec un degré de perfection de plus, on viendroit à bout de peser le feu, et même la chaleur.

Les boulets rouges de quatre pouces et demi et de cinq pouces de diamètre, que j'avois laissé refroidir dans ma balance[1], avoient perdu sept, huit et dix grains chacun en se refroidissant; mais plusieurs raisons m'ont empêché de regarder cette petite diminution comme la quantité réelle du poids de la chaleur. Car, 1° le fer, comme on l'a vu par le résultat de mes expériences, est une matière que le feu dévore, puisqu'il la rend spécifiquement plus légère : ainsi l'on peut attribuer cette diminution de poids à l'évaporation des parties du fer enlevées par le feu. 2° Le fer jette des étincelles en grande quantité lorsqu'il est rougi à blanc, il en jette encore quelques unes lorsqu'il n'est que rouge, et ces étincelles sont des parties de matière dont il faut défalquer le poids de celui de la diminution totale ; et, comme il n'est pas possi-

1. Voyez les expériences du premier Mémoire.

ble de recueillir toutes ces étincelles, ni d'en connoître le poids, il n'est pas possible non plus de savoir combien cette perte diminue la pesanteur des boulets. 3° Je me suis aperçu que le fer demeure rouge et jette de petites étincelles bien plus long-temps qu'on ne l'imagine; car quoiqu'au grand jour il perde sa lumière et paroisse noir au bout de quelques minutes, si on le transporte dans un lieu obscur, on le voit lumineux, et on aperçoit les petites étincelles qu'il continue de lancer pendant quelques autres minutes. 4° Enfin les expériences sur les boulets me laissoient quelque scrupule, parce que la balance dont je me servois alors, quoique bonne, ne me paroissoit pas assez précise pour saisir au juste le poids réel d'une matière aussi légère que le feu. Ayant donc fait construire une balance capable de porter aisément cinquante livres de chaque côté, à l'exécution de laquelle M. Le Roy, de l'Académie des Sciences, à bien voulu, à ma prière, donner toute l'attention nécessaire, j'ai eu la satisfaction de reconnoître à peu près la pesanteur relative du feu. Cette balance chargée de cinquante livres de chaque côté penchoit assez sensiblement par l'addition de vingt-quatre grains; et chargée de vingt-cinq livres, elle penchoit par l'addition de huit grains seulement.

Pour rendre cette balance plus ou moins sensible, M. Le Roy a fait visser sur l'aiguille une masse de plomb, qui s'élevant et s'abaissant, change le centre de gravité; de sorte qu'on peut augmenter de près de moitié la sensibilité de la balance. Mais par le grand nombre d'expériences que j'ai faites de cette balance et de quelques autres, j'ai reconnu qu'en général

plus une balance est sensible, et moins elle est *sage :* les caprices, tant au physique qu'au moral, semblent être des attributs inséparables de la grande sensibilité. Les balances très sensibles sont si capricieuses, qu'elles ne parlent jamais de la même façon : aujourd'hui elles vous indiquent le poids à un millième près, et demain elles ne le donnent qu'à une moitié, c'est-à-dire à un cinq-centième près, au lieu d'un millième. Une balance moins sensible est plus constante, plus fidèle ; et, tout considéré, il vaut mieux, pour l'usage froid qu'on fait d'une balance, la choisir sage que de la prendre ou la rendre trop sensible.

Pour peser exactement des masses pénétrées de feu, j'ai commencé par faire garnir de tôle les bassins de cuivre et les chaînes de la balance, afin de ne les pas endommager ; et après en avoir bien établi l'équilibre à son moindre degré de sensibilité, j'ai fait porter sur l'un des bassins une masse de fer rougi à blanc, qui provenoit de la seconde chaude qu'on donne à l'affinerie après avoir battu au marteau la loupe qu'on appelle *renard :* je fais cette remarque, parce que mon fer, dès cette seconde chaude, ne donne presque plus de flamme, et ne paroît pas se consumer comme il se consume et brûle à la première chaude, et que, quoiqu'il soit blanc de feu, il ne jette qu'un petit nombre d'étincelles avant d'être mis sous le marteau.

I. Une masse de fer rougi à blanc s'est trouvée peser précisément 49 livres 9 onces ; l'ayant enlevée doucement du bassin de la balance, et posée sur une pièce d'autre fer où on la laissoit refroidir sans la

toucher, elle s'est trouvée, après son refroidissement, au degré de la température de l'air, qui étoit alors celui de la congélation, ne peser que 49 livres 7 onces juste : ainsi elle a perdu 2 onces pendant son refroidissement. On observera qu'elle ne jetoit aucune étincelle, aucune vapeur assez sensible pour ne devoir pas être regardée comme la pure émanation du feu. Ainsi l'on pourroit croire que la quantité de feu contenue dans cette masse de 49 livres 9 onces, étant de 2 onces, elle formoit environ $\frac{1}{396}$ ou $\frac{1}{397}$ du poids de la masse totale. On a remis ensuite cette masse refroidie au feu de l'affinerie; et l'ayant fait chauffer à blanc comme la première fois, et porter au marteau, elle s'est trouvée, après avoir été malléée et refroidie, ne peser que 47 livres 12 onces 3 gros; ainsi le déchet de cette chaude, tant au feu qu'au marteau, étoit de 1 livre 10 onces 5 gros; et ayant fait donner une seconde et une troisième chaude à cette pièce pour achever la barre, elle ne pesoit plus que 43 livres 7 onces 7 gros; ainsi son déchet total, tant par l'évaporation du feu que par la purification du fer à l'affinerie et sous le marteau, s'est trouvé de 6 livres 1 once 1 gros sur 49 livres 9 onces; ce qui ne va pas tout-à-fait au huitième.

Une seconde pièce de fer, prise de même au sortir de l'affinerie à la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 38 livres 15 onces 5 gros 36 grains; et ensuite, pesée froide, de 38 livres 14 onces 36 grains : ainsi elle a perdu 1 once 5 gros en se refroidissant; ce qui fait environ $\frac{1}{384}$ du poids total de sa masse.

Une troisième pièce de fer, prise de même au sortir

du feu de l'affinerie, après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 45 livres 12 onces 6 gros, et, pesée froide, de 45 livres 11 onces 2 gros : ainsi elle a perdu 1 once 4 gros en se refroidissant; ce qui fait environ $\frac{1}{489}$ de son poids total.

Une quatrième pièce de fer, prise de même après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 48 livres 11 onces 6 gros, et, pesée après son refroidissement, de 48 livres 10 onces juste : ainsi elle a perdu, en se refroidissant, 14 gros; ce qui fait environ $\frac{1}{447}$ du poids de la masse totale.

Enfin une cinquième pièce de fer, prise de même après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 49 livres 11 onces, et, pesée après son refroidissement, de 49 livres 9 onces 1 gros : ainsi elle a perdu, en se refroidissant, 15 gros; ce qui fait $\frac{1}{424}$ du poids total de sa masse.

En réunissant les résultats des cinq expériences pour en prendre la mesure commune, on peut assurer que le fer chauffé à blanc, et qui n'a reçu que deux volées de coups de marteau, perd, en se refroidissant, $\frac{1}{428}$ de sa masse.

II. Une pièce de fer qui avoit reçu quatre volées de coups de marteau, et par conséquent toutes les chaudes nécessaires pour être entièrement et parfaitement forgée, et qui pesoit 14 livres 4 gros, ayant été chauffée à blanc, ne pesoit plus que 13 livres 12 onces dans cet état d'incandescence, et 13 livres 11 onces 4 gros après son entier refroidissement; d'où l'on peut conclure que la quantité de feu dont cette pièce de fer étoit pénétrée, faisoit $\frac{1}{440}$ de son poids total.

Une seconde pièce de fer entièrement forgée, et de même qualité que la précédente, pesoit, froide, 13 livres 7 onces 6 gros; chauffée à blanc, 13 livres 6 onces 7 gros; et refroidie, 13 livres 6 onces 3 gros; ce qui donne $\frac{1}{430}$ à très peu près dont elle a diminué en se refroidissant.

Une troisième pièce de fer, forgée de même que les précédentes, pesoit, froide, 13 livres 1 gros, et chauffée au dernier degré, en sorte qu'elle étoit non seulement blanche, mais bouillonnante et pétillante de feu, s'est trouvée peser 12 livres 9 onces 7 gros dans cet état d'incandescence; et refroidie à la température actuelle, qui étoit de 16 degrés au dessus de la congélation, elle ne pesoit plus que 12 livres 9 onces 3 gros; ce qui donne $\frac{1}{404}$ à très peu près pour la quantité qu'elle a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences, on peut assurer que le fer parfaitement forgé et de la meilleure qualité, chauffé à blanc, perd, en se refroidissant, environ $\frac{1}{425}$ de sa masse.

III. Un morceau de fer en gueuse, pesé très rouge, environ 20 minutes après sa coulée, s'est trouvé du poids de 33 livres 10 onces; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit plus que 33 livres 9 onces : ainsi il a perdu 1 once, c'est-à-dire $\frac{1}{538}$ de son poids ou masse totale en se refroidissant.

Un second morceau de fonte, pris de même très rouge, pesoit 22 livres 8 onces 3 gros; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit plus que 22 livres 7 onces 5 gros; ce qui donne $\frac{1}{480}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un troisième morceau de fonte qui pesoit chaud 16 livres 6 onces 3 gros $^1/_2$ ne pesoit que 16 livres 5 onces 7 gros $^1/_2$ lorsqu'il fut refroidi ; ce qui donne $\frac{1}{525}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences sur la fonte pesée chaude couleur de cerise, on peut assurer qu'elle perd, en se refroidissant, environ $\frac{1}{514}$ de sa masse ; ce qui fait une moindre diminution que celle du fer forgé : mais la raison en est que le fer forgé a été chauffé à blanc dans toutes nos expériences, au lieu que la fonte n'étoit que d'un rouge couleur de cerise lorsqu'on l'a pesée, et que par conséquent elle n'étoit pas pénétrée d'autant de feu que le fer ; car on observera qu'on ne peut chauffer à blanc la fonte de fer sans l'enflammer et la brûler en partie, en sorte que je me suis déterminé à la faire peser seulement rouge, et au moment où elle vient de prendre sa consistance dans le moule, au sortir du fourneau de fusion.

IV. On a pris sur la dame du fourneau des morceaux du laitier le plus pur et qui formoit du très beau verre de couleur verdâtre.

Le premier morceau pesoit chaud 6 livres 14 onces 2 gros $^1/_2$; et refroidi il ne pesoit que 6 livres 14 onces 1 gros ; ce qui donne $\frac{1}{688}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un second morceau de laitier, semblable au précédent, a pesé chaud 5 livres 8 onces 6 gros $^1/_4$; et refroidi, 5 livres 8 onces 5 gros ; ce qui donne $\frac{1}{568}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un troisième morceau, pris de même sur la dame

du fourneau, mais un peu moins ardent que le précédent, a pesé chaud 4 livres 7 onces 4 gros $^1/_2$; et refroidi, 4 livres 7 onces 3 gros $^1/_2$; ce qui donne $\frac{1}{572}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un quatrième morceau de laitier, qui étoit de verre solide et pur, et qui pesoit, froid, 2 livres 14 onces 1 gros, ayant été chauffé jusqu'au rouge couleur de feu, s'est trouvé peser 2 livres 14 onces 1 gros $^2/_3$; ensuite, après son refroidissement, il a pesé, comme avant d'avoir été chauffé, 2 livres 14 onces 1 gros juste; ce qui donne $\frac{1}{553\ ^1/_2}$ pour le poids de la quantité de feu dont dont il étoit pénétré.

Prenant le terme des résultats de ces quatre expériences sur le verre pesé chaud couleur de feu, on peut assurer qu'il perd en se refroidissant $\frac{1}{570}$; ce qui me paroît être le vrai poids du feu, relativement au poids total des matières qui en sont pénétrées : car ce verre ou laitier ne se brûle ni ne se consume au feu; il ne perd rien de son poids, et se trouve seulement peser $\frac{1}{670}$ de plus lorsqu'il est pénétré de feu.

V. J'ai tenté plusieurs expériences semblables sur le grès; mais elles n'ont pas si bien réussi. La plupart des espèces de grès s'égrenant au feu, on ne peut les chauffer qu'à demi, et ceux qui sont assez durs et d'une assez bonne qualité pour supporter, sans s'égrener, un feu violent, se couvrent d'émail; il y a d'ailleurs dans presque tous des espèces de clous noirs et ferrugineux qui brûlent dans l'opération. Le seul fait certain que j'ai pu tirer de sept expériences sur dif-

férents morceaux de grès dur, c'est qu'il ne gagne rien au feu, et qu'il n'y perd que très peu. J'avois déjà trouvé la même chose par les expériences rapportées dans le premier mémoire.

De toutes ces expériences, je crois qu'on doit conclure :

1° Que le feu a, comme toute autre matière, une pesanteur réelle, dont on peut connoître le rapport à la balance dans les substances qui, comme le verre, ne peuvent être altérées par son action, et dans lesquelles il ne fait, pour ainsi dire, que passer, sans y rien laisser et sans en rien enlever.

2° Que la quantité de feu nécessaire pour rougir une masse quelconque, et lui donner sa couleur et sa chaleur, pèse $\frac{1}{570}$, ou, si l'on veut, une six-centième partie de cette masse; en sorte que si elle pèse froide 600 livres, elle pèsera chaude 601 lorsqu'elle sera rouge couleur de feu.

3° Que dans les matières qui, comme le fer, sont susceptibles d'un plus grand degré de feu, et peuvent être chauffées à blanc sans se fondre, la quantité de feu dont elles sont alors pénétrées, est environ d'un sixième plus grande; en sorte que sur 500 livres de fer il se trouve une livre de feu. Nous avons même trouvé plus par les expériences précédentes, puisque leur résultat commun donne $\frac{1}{425}$; mais il faut observer que le fer, ainsi que toutes les substances métalliques, se consume un peu en se refroidissant, et qu'il diminue toutes les fois qu'on y applique le feu : cette différence entre $\frac{1}{600}$ et $\frac{1}{425}$ provient donc de cette diminution ; le fer, qui perd une quantité très sensible dans le feu, continue à perdre un peu tant qu'il en est

pénétré, et par conséquent sa masse totale se trouve plus diminuée que celle du verre, que le feu ne peut consumer, ni brûler, ni volatiliser.

Je viens de dire qu'il en est de toutes les substances métalliques comme du fer, c'est-à-dire que toutes perdent quelque chose par la longue ou la violente action du feu, et je puis le prouver par des expériences incontestables sur l'or et sur l'argent, qui, de tous les métaux, sont les plus fixes et les moins sujets à être altérés par le feu. J'ai exposé au foyer du miroir ardent des plaques d'argent pur, et des morceaux d'or aussi pur; je les ai vus fumer abondamment et pendant un très long-temps : il n'est donc pas douteux que ces métaux ne perdent quelque chose de leur substance par l'application du feu; et j'ai été informé, depuis, que cette matière qui s'échappe de ces métaux et s'élève en fumée n'est autre chose que le métal même volatilisé, puisqu'on peut dorer ou argenter à cette fumée métallique les corps qui la reçoivent.

Le feu, surtout appliqué long-temps, volatilise donc peu à peu ces métaux, qu'il semble ne pouvoir brûler ni détruire d'aucune autre manière; et en les volatilisant il n'en change pas la nature, puisque cette fumée qui s'en échappe est encore du métal qui conserve toutes ses propriétés. Or il ne faut pas un feu bien violent pour produire cette fumée métallique; elle paroît à un degré de chaleur au dessous de celui qui est nécessaire pour la fusion de ces métaux. C'est de cette même manière que l'or et l'argent se sont sublimés dans le sein de la terre : ils ont d'abord été fondus par la chaleur excessive du premier état du

globe, où tout étoit en liquéfaction; et ensuite la chaleur moins forte, mais constante, de l'intérieur de la terre les a volatilisés, et a poussé ces fumées métalliques jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, où elles se sont accumulées en grains ou attachées en vapeurs aux sables et aux autres matières dans lesquelles on les trouve aujourd'hui. Les paillettes d'or que l'eau roule avec les sables tirent leur origine, soit des masses d'or fondues par le feu primitif, soit des surfaces dorées par cette sublimation, desquelles l'action de l'air et de l'eau les détache et les sépare.

Mais revenons à l'objet immédiat de nos expériences. Il me paroît qu'elles ne laissent aucun doute sur la pesanteur réelle du feu, et qu'on peut assurer en conséquence de leurs résultats, que toute matière solide pénétrée de cet élément, autant qu'elle peut l'être par l'application que nous savons en faire, est au moins d'une six-centième partie plus pesante que dans l'état de la température actuelle, et qu'il faut une livre de matière ignée pour donner à 600 livres de toute autre matière l'état d'incandescence jusqu'au rouge couleur de feu, et environ une livre sur 500 pour que l'incandescence soit jusqu'au blanc ou jusqu'à la fusion; en sorte que le fer chauffé à blanc, ou le verre en fusion, contiennent dans cet état $\frac{1}{500}$ de matière ignée dont leur propre substance est pénétrée.

Mais cette grande vérité, qui paroîtra nouvelle aux physiciens, et de laquelle on pourra tirer des conséquences utiles, ne nous apprend pas encore ce qu'il seroit cependant important de savoir; je veux dire le rapport de la pesanteur du feu à la pesanteur de l'air, ou de la matière ignée à celle des autres matières.

Cette recherche suppose de nouvelles découvertes auxquelles je ne suis pas parvenu, et dont je n'ai donné que quelques indications dans mon *Traité des éléments:* car, quoique nous sachions par mes expériences qu'il faut une cinq-centième partie de matière ignée pour donner à toute autre matière l'état de la plus forte incandescence, nous ne savons pas à quel point cette matière ignée y est condensée, comprimée, ni même accumulée, parce que nous n'avons jamais pu la saisir dans un état constant pour la peser ou la mesurer; en sorte que nous n'avons point d'unité à laquelle nous puissions rapporter la mesure de l'état d'incandescence. Tout ce que j'ai donc pu faire à la suite de mes expériences, c'est de rechercher combien il falloit consommer de matière combustible pour faire entrer dans une masse de matière solide cette quantité de matière ignée qui est la cinq-centième partie de la masse en incandescence, et j'ai trouvé, par des essais réitérés, qu'il falloit brûler 300 livres de charbon au vent de deux soufflets de dix pieds de longueur pour chauffer à blanc une pièce de fonte de fer de 500 livres pesant. Mais comment mesurer, ni même estimer à peu près, la quantité totale de feu produite par ces 300 livres de matière combustible? comment pouvoir comparer la quantité de feu qui se perd dans les airs avec celle qui s'attache à la pièce de fer, et qui pénètre dans toutes les parties de sa substance? Il faudroit pour cela bien d'autres expériences, ou plutôt il faut un art nouveau dans lequel je n'ai pu faire que les premiers pas.

VI. J'ai fait quelques expériences pour reconnoître

combien il faut de temps aux matières qui sont en fusion pour prendre leur consistance, et passer de l'état de fluidité à celui de la solidité; combien de temps il faut pour que la surface prenne sa consistance; combien il en faut de plus pour produire cette même consistance à l'intérieur, et savoir par conséquent combien le centre d'un globe dont la surface seroit consistante et même refroidie à un certain point pourroit néanmoins être de temps dans l'état de liquéfaction : voici ces expériences :

SUR LE FER.

N° 1. Le 29 juillet, à 5 heures 45 minutes, moment auquel la fonte de fer a cessé de couler, on a observé que la gueuse a pris de la consistance sur sa face supérieure en 3 minutes à sa tête, c'est-à-dire à la partie la plus éloignée du fourneau, et en cinq minutes à sa queue, c'est-à-dire à la partie la plus voisine du fourneau : l'ayant alors fait soulever du moule et casser en cinq endroits, on n'a vu aucune marque de fusibilité intérieure dans les quatre premiers morceaux; seulement, dans le morceau cassé le plus près du fourneau, la matière s'est trouvée intérieurement molle, et quelques parties se sont attachées au bout d'un petit ringard, à 5 heures 55 minutes, c'est-à-dire 12 minutes après la fin de la coulée : on a conservé ce morceau numéroté ainsi que les suivants.

N° 2. Le lendemain, 30 juillet, on a coulé une autre gueuse à 8 heures 1 minute, et à 8 heures 4 minutes, c'est-à-dire trois minutes après, la surface de sa tête étoit consolidée; et en ayant fait casser deux

morceaux, il est sorti de leur intérieur une petite quantité de fonte coulante; à 8 heures 7 minutes il y avoit encore dans l'intérieur des marques évidentes de fusion, en sorte que la surface a pris consistance en 3 minutes, et l'intérieur ne l'avoit pas encore prise en 6 minutes.

N° 3. Le 31 juillet, la gueuse a cessé de couler à midi 35 minutes; sa surface, dans la partie du milieu, avoit pris sa consistance à 39 minutes, c'est-à-dire en 4 minutes, et l'ayant cassée dans cet endroit à midi 44 minutes, il s'en est écoulé une grande quantité de fonte encore en fusion : on avoit remarqué que la fonte de cette gueuse étoit plus liquide que celle du n° précédent, et on a conservé un morceau cassé dans lequel l'écoulement de la matière intérieure a laissé une cavité profonde de 26 pouces dans l'intérieur de la gueuse. Ainsi la surface ayant pris en 4 minutes sa consistance solide, l'intérieur étoit encore en grande liquéfaction après 8 minutes $^1/_2$.

N° 4. Le 2 août, à 4 heures 47 minutes, la gueuse qu'on a coulée s'est trouvée d'une fonte très épaisse, aussi sa surface dans le milieu a pris sa consistance en 3 minutes; et 1 minute $^1/_2$ après, lorsqu'on l'a cassée, toute la fonte de l'intérieur s'est écoulée, et n'a laissé qu'un tuyau de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure, et d'un pouce environ d'épaisseur aux autres faces.

N° 5. Le 3 août, dans une gueuse de fonte très liquide, on a cassé trois morceaux d'environ 2 pieds $^1/_2$ de long, à commencer du côté de la gueuse, c'est-à-dire dans la partie la plus froide du moule et la plus éloignée du fourneau, et l'on a reconnu, comme il

étoit naturel de s'y attendre, que la partie intérieure de la gueuse étoit moins consistante à mesure qu'on approchoit du fourneau, et que la cavité inférieure, produite par l'écoulement de la fonte encore liquide, étoit à peu près en raison inverse de la distance au fourneau. Deux causes évidentes concourent à produire cet effet : le moule de la gueuse formé par les sables est d'autant plus échauffé qu'il est plus près du fourneau, et en second lieu, il reçoit d'autant plus de chaleur qu'il y passe une plus grande quantité de fonte. Or la totalité de la fonte qui constitue la gueuse passe dans la partie du moule où se forme sa queue, auprès de l'ouverture de la coulée; tandis que la tête de la gueuse n'est formée que de l'excédant qui a parcouru le moule entier, et s'est déjà refroidie avant d'arriver dans cette partie la plus éloignée du fourneau, la plus froide de toutes, et qui n'est échauffée que par la seule matière qu'elle contient. Aussi de trois morceaux pris à la tête de cette gueuse, la surface du premier, c'est-à-dire du plus éloigné du fourneau, a pris sa consistance en 1 minute $^1/_2$; mais tout l'intérieur a coulé au bout de 3 minutes $^1/_2$. La surface du second a de même pris sa consistance en 1 minute $^1/_2$, et l'intérieur couloit de même au bout de 3 minutes $^1/_2$. Enfin la surface du troisième morceau, qui étoit le plus loin de la terre, et qui approchoit du milieu de la gueuse, a pris sa consistance en 1 minute $^1/_4$, et l'intérieur couloit encore très abondamment au bout de 4 minutes.

Je dois observer que toutes ces gueuses étoient triangulaires, et que leur face supérieure, qui étoit la plus grande, avoit environ 6 pouces $^1/_2$ de largeur.

Cette face supérieure, qui est exposée à l'action de l'air, se consolide néanmoins plus lentement que les deux faces qui sont dans le sillon où la matière a coulé : l'humidité des sables qui forme cette espèce de moule refroidit et consolide la fonte plus promptement que l'air ; car, dans tous les morceaux que j'ai fait casser, les cavités formées par l'écoulement de la fonte encore liquide étoient bien plus voisines de la face supérieure que des deux autres faces.

Ayant examiné tous ces morceaux après leur refroidissement, j'ai trouvé, 1° que les morceaux du n° 4 ne s'étoient consolidés que de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure ; 2° que ceux du n° 5 se sont consolidés de 9 lignes d'épaisseur sous cette même face supérieure ; 3° que les morceaux du n° 2 s'étoient consolidés d'un pouce d'épaisseur sous cette même face ; 4° que les morceaux du n° 3 s'étoient consolidés d'un pouce et demi d'épaisseur sous la même face ; et enfin que les morceaux du n° 1 s'étoient consolidés jusqu'à 2 pouces 3 lignes sous cette même face supérieure.

Les épaisseurs consolidées sont donc 6, 9, 12, 18, 27 lignes, et les temps employés à cette consolidation sont 1 $^1/_2$, 2 ou 2 $^1/_2$, 3, 4 $^1/_2$, 7 minutes ; ce qui fait à très peu près le quart numérique des épaisseurs. Ainsi les temps nécessaires pour consolider le métal fluide sont précisément en même raison que celle de leur épaisseur : en sorte que si nous supposons un globe isolé de toutes parts, dont la surface aura pris sa consistance en un temps donné, par exemple, en 3 minutes, il faudra 1 minute $^1/_2$ de plus pour le consolider à 6 lignes de profondeur ; 2 minutes $^1/_4$ pour le consolider à 9 lignes, 3 minutes pour le consolider

à 12 lignes, 4 minutes pour le consolider à 18 lignes, et 7 minutes pour le consolider à 27 ou 28 lignes de profondeur; et par conséquent 36 minutes pour le consolider à 10 pieds de profondeur, etc.

SUR LE VERRE.

Ayant fait couler du laitier dans des moules très voisins du fourneau, à environ 2 pieds de l'ouverture calculée, j'ai reconnu, par plusieurs essais, que la surface de ces morceaux de laitier prend sa consistance en moins de temps que la fonte de fer, et que l'intérieur se consolidoit aussi beaucoup plus vite: mais je n'ai pu déterminer, comme je l'ai fait sur le fer, les temps nécessaires pour consolider l'intérieur du verre à différentes épaisseurs; je ne sais même si l'on en viendroit à bout dans un fourneau de verrerie où l'on auroit le verre en masses fort épaisses: tout ce que je puis assurer, c'est que la consolidation du verre, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, est à peu près une fois plus prompte que celle de la fonte du fer. Et en même temps que le premier coup de l'air condense la surface du verre liquide et lui donne une sorte de consistance solide, il la divise et la fêle en une infinité de petites parties, en sorte que le verre saisi par l'air frais ne prend pas une solidité réelle, et qu'il se brise au moindre choc; au lieu qu'en le laissant recuire dans un four très chaud il acquiert peu à peu la solidité que nous lui connoissons. Il paroît donc bien difficile de déterminer, par l'expérience, les rapports du temps qu'il faut pour consolider le verre à différentes épaisseurs au dessous de sa surface. Je crois seulement

qu'on peut, sans se tromper, prendre le même rapport pour la consolidation que celui du refroidissement du verre au refroidissement du fer, lequel rapport est de 132 à 236 par les expériences du second mémoire, tome III, page 276.

VII. Ayant déterminé, par les expériences précédentes, les temps nécessaires pour la consolidation du fer en fusion, tant à sa surface qu'aux différentes profondeurs de son intérieur, j'ai cherché à reconnoître, par des observations exactes, quelle étoit la durée de l'incandescence dans cette même matière.

1. Un renard, c'est-à-dire une loupe détachée de la gueuse par le feu de la chaufferie, et prête à être portée sous le marteau, a été mise dans un lieu dont l'obscurité étoit égale à celle de la nuit quand le ciel est couvert : cette loupe, qui étoit fort enflammée, n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 24 minutes; d'abord la flamme étoit blanche, ensuite rouge et bleuâtre sur la fin : elle ne paroissoit plus alors qu'à la partie inférieure de la loupe qui touchoit la terre, et ne se montroit que par ondulations ou par reprises, comme celle d'une chandelle qui s'éteint. Ainsi la première incandescence, accompagnée de flamme, a duré 24 minutes; ensuite la loupe, qui étoit encore bien rouge, a perdu cette couleur peu à peu, et a cessé de paroître rouge au bout de 74 minutes, non compris les 24 premières, ce qui fait en tout 98 minutes : mais il n'y avoit que les surfaces supérieure et latérale qui avoient absolument perdu leur couleur rouge; la surface inférieure, qui touchoit à la terre, l'étoit encore aussi bien que l'intérieur de

la loupe. Je commençai alors, c'est-à-dire au bout de 98 minutes, à laisser tomber quelques grains de poudre à tirer sur la surface supérieure; ils s'enflammèrent avec explosion. On continuoit de jeter de temps en temps de la poudre sur la loupe, et ce ne fut qu'au bout de 42 minutes de plus qu'elle cessa de faire explosion : à 43, 44 et 45 minutes, la poudre se fondoit et fusoit sans explosion, en donnant seulement une petite flamme bleue. De là, je crus devoir conclure que l'incandescence à l'intérieur de la loupe n'avoit fini qu'alors, c'est-à-dire 42 minutes après celle de la surface, et qu'en tout elle avoit duré 140 minutes.

Cette loupe étoit de figure à peu près ovale et aplatie sur deux faces parallèles; son grand diamètre étoit de 13 pouces, et le petit de 8 pouces : elle avoit aussi, à très peu près, 8 pouces d'épaisseur partout, et elle pesoit 91 livres 4 onces après avoir été refroidie.

2. Un autre renard, mais plus petit que le premier, tout aussi blanc de flamme et pétillant de feu, au lieu d'être porté sous le marteau, a été mis dans le même lieu obscur, où il n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 22 minutes; ensuite il n'a perdu sa couleur rouge qu'après 43 minutes; ce qui fait 65 minutes pour la durée des deux états d'incandescence à la surface, sur laquelle ayant ensuite jeté des grains de poudre, ils n'ont cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 40 minutes; ce qui fait en tout 105 minutes pour la durée de l'incandescence, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Cette loupe étoit à peu près circulaire, sur 9 pouces de diamètre, et elle avoit environ 6 pouces d'é-

paisseur partout; elle s'est trouvée du poids de 54 livres après son refroidissement.

J'ai observé que la flamme et la couleur rouge suivent la même marche dans leur dégradation; elles commencent par disparoître à la surface supérieure de la loupe, tandis qu'elles durent encore aux surfaces latérales, et continuent de paroître assez long-temps autour de la surface inférieure, qui, étant constamment appliquée sur la terre, se refroidit plus lentement que les autres surfaces qui sont exposées à l'air.

3. Un troisième renard, tiré du feu très blanc, brûlant et pétillant d'étincelles et de flamme, ayant été porté dans cet état sous le marteau, n'a conservé cette incandescence enflammée que 6 minutes; les coups précipités dont il a été frappé pendant ces 6 minutes, ayant comprimé la matière, en ont en même temps réprimé la flamme, qui auroit subsisté plus long-temps sans cette opération, par laquelle on en a fait une pièce de fer de 12 pouces $^1/_2$ de longueur sur 4 pouces en carré, qui s'est trouvée peser 48 livres 4 onces après avoir été refroidie. Mais, ayant mis auparavant cette pièce encore toute rouge dans le même lieu obscur, elle n'a cessé de paroître rouge à sa surface qu'au bout de 46 minutes, y compris les 6 premières. Ayant ensuite fait l'épreuve avec la poudre à tirer, qui n'a cessé de s'enflammer avec explosion que 26 minutes après les 46, il en résulte que l'incandescence intérieure et totale a duré 72 minutes.

En comparant ensemble ces trois expériences, on peut conclure que la durée de l'incandescence totale est comme celle de la prise de consistance propor-

tionnelle à l'épaisseur de la matière : car la première loupe, qui avoit 8 pouces d'épaisseur, a conservé son incandescence pendant 140 minutes; la seconde, qui avoit 6 pouces d'épaisseur, l'a conservée pendant 105 minutes; et la troisième, qui n'avoit que 4 pouces, ne l'a conservée que pendant 72 minutes. Or 105 : 140 :: 6 : 8, et de même, 72 : 140 à peu près :: 4 : 8, en sorte qu'il paroît y avoir même rapport entre les temps qu'entre les épaisseurs.

4. Pour m'assurer encore mieux de ce fait important, j'ai cru devoir répéter l'expérience sur une loupe prise, comme la précédente, au sortir de la chaufferie. On l'a portée tout enflammée sous le marteau; la flamme a cessé au bout de 6 minutes, et, dans ce moment, on a cessé de la battre : on l'a mise tout de suite dans le même lieu obscur; le rouge n'a cessé qu'au bout de 39 minutes; ce qui donne 45 minutes pour les deux états d'incandescence à la surface : ensuite la poudre n'a cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 28 minutes; ainsi l'incandescence intérieure et totale a duré 73 minutes. Or, cette pièce avoit, comme la précédente, 4 pouces juste d'épaisseur sur deux faces en carré, et 10 pouces $^1/_4$ de longueur; elle pesoit 39 livres 4 onces après avoir été refroidie.

Cette dernière expérience s'accorde si parfaitement avec celle qui la précède et avec les deux autres, qu'on ne peut pas douter qu'en général la durée de l'incandescence ne soit à très peu près proportionnelle à l'épaisseur de la masse, et que par conséquent ce grand degré de feu ne suive la même loi que celle de la chaleur médiocre; en sorte que, dans des globes de

même matière, la chaleur ou le feu du plus haut degré, pendant tout le temps de l'incandescence, s'y conservent et y durent précisément en raison de leur diamètre. Cette vérité, que je voulois acquérir et démontrer par le fait, semble nous indiquer que les causes cachées (*causæ latentes*) de Newton, desquelles j'ai parlé dans le premier de ces mémoires, ne s'opposent que très peu à la sortie du feu, puisqu'elle se fait de la même manière que si les corps étoient entièrement et parfaitement perméables, et que rien ne s'opposât à son issue. Cependant on seroit porté à croire que plus la matière est comprimée, plus elle doit retenir de temps le feu; en sorte que la durée de l'incandescence devoit être alors en plus grande raison que celle des épaisseurs ou des diamètres. J'ai donc essayé de reconnoître cette différence par l'expérience suivante.

5. J'ai fait forger une masse cubique de fer, de 5 pouces 9 lignes de toutes faces; elle a subi trois chaudes successives, et, l'ayant laissé refroidir, son poids s'est trouvé de 48 livres 9 onces. Après l'avoir pesée, on l'a mise de nouveau au feu de l'affinerie, où elle n'a été chauffée que jusqu'au rouge couleur de feu, parce qu'alors elle commençoit à donner un peu de flamme, et qu'en la laissant au feu plus long-temps, le fer auroit brûlé. De là on l'a transportée tout de suite dans le même lieu obscur, où j'ai vu qu'elle ne donnoit aucune flamme; néanmoins elle n'a cessé de paroître rouge qu'au bout de 52 minutes, et la poudre n'a cessé de s'enflammer à sa surface avec explosion que 43 minutes après; ainsi l'incandescence totale a duré 95 minutes. On a pesé cette masse une

seconde fois après son entier refroidissement; elle s'est trouvée peser 48 livres 1 once : ainsi elle avoit perdu au feu 8 onces de son poids, et elle en auroit perdu davantage si on l'eût chauffée jusqu'au blanc.

En comparant cette expérience avec les autres, on voit que l'épaisseur de la masse étant de 5 pouces $^{3}/_{4}$, l'incandescence totale a duré 95 minutes dans cette pièce de fer, comprimée autant qu'il est possible, et que dans les premières masses, qui n'avoient point été comprimées par le marteau, l'épaisseur étant de 6 pouces, l'incandescence a duré 105 minutes, et l'épaisseur étant de 8 pouces, elle a duré 140 minutes. Or 140 : 8 ou 105 : 6 :: 95 : 5 $^{9}/_{21}$, au lieu que l'expérience nous donne 5 $^{3}/_{4}$. Les causes cachées, dont la principale est la compression de la matière, et les obstacles qui en résultent pour l'issue de la chaleur, semblent donc produire cette différence de 5 $^{3}/_{4}$ à 5 $^{9}/_{21}$; ce qui fait $^{27}/_{84}$, ou un peu plus d'un tiers sur $^{15}/_{3}$, c'est-à-dire d'environ $^{1}/_{16}$ sur le tout; en sorte que le fer bien battu, bien *sué*, bien comprimé, ne perd son incandescence qu'en 17 de temps, tandis que le même fer qui n'a point été comprimé la perd en 16 du même temps. Et ceci paroît se confirmer par les expériences 3 et 4, où les masses de fer ayant été comprimées par une seule volée de coups de marteau n'ont perdu leur incandescence qu'au bout de 72 et 73 minutes, au lieu de 70 qu'a duré celle des loupes non comprimées; ce qui fait 2 $^{1}/_{2}$ sur 70, ou $^{5}/_{140}$ ou $^{1}/_{28}$ de différence produites par cette première compression. Ainsi l'on ne doit pas être étonné que la seconde et la troisième compression qu'a subies la masse de fer de la cinquième expérience, qui a été battue

par trois volées de coups de marteau, aient produit $^1/_{16}$ au lieu de $^1/_{28}$ de différence dans la durée de l'incandescence. On peut donc assurer en général que la plus forte compression qu'on puisse donner à la matière pénétrée de feu autant qu'elle peut l'être ne diminue que d'une seizième partie la durée de son incandescence, et que, dans la matière qui ne reçoit point de compression extérieure, cette durée est précisément en même raison que son épaisseur.

Maintenant, pour appliquer au globe de la terre le résultat de ces expériences, nous considérerons qu'il n'a pu prendre sa forme élevée sous l'équateur, et abaissée sous les pôles, qu'en vertu de la force centrifuge combinée avec celle de la pesanteur; que par conséquent il a dû tourner sur son axe pendant un petit temps, avant que sa surface ait pris sa consistance, et qu'ensuite la matière intérieure s'est consolidée dans les mêmes rapports de temps indiqués par nos expériences; en sorte qu'en partant de la supposition d'un jour au moins pour le petit temps nécessaire à la prise de consistance à sa surface, et en admettant, comme nos expériences l'indiquent, un temps de 3 minutes pour en consolider la matière intérieure à un pouce de profondeur, il se trouvera 36 minutes pour un pied, 216 minutes pour une toise, 342 jours pour une lieue, et 490086 jours, ou environ 1342 ans, pour qu'un globe de fonte de fer qui auroit, comme celui de la terre, 1432 lieues $^1/_2$ de diamètre, eût pris sa consistance jusqu'au centre.

La supposition que je fais ici d'un jour de rotation pour que le globe terrestre ait pu s'élever régulièrement sous l'équateur, et s'abaisser sous les pôles,

avant que sa surface fût consolidée, me paroît plutôt trop foible que trop forte; car il a peut-être fallu un grand nombre de révolutions de vingt-quatre heures chacune sur son axe pour que la matière fluide se soit solidement établie, et l'on voit bien que, dans ce cas, le temps nécessaire pour la prise de consistance de la matière au centre se trouvera plus grand. Pour le réduire autant qu'il est possible, nous n'avons fait aucune attention à l'effet de la force centrifuge qui s'oppose à celui de la réunion des parties, c'est-à-dire à la prise de consistance de la matière en fusion. Nous avons supposé encore, dans la même vue de diminuer le temps, que l'atmosphère de la terre, alors tout en feu, n'étoit néanmoins pas plus chaude que celle de mon fourneau à quelques pieds de distance où se sont faites les expériences; et c'est en conséquence de ces deux suppositions trop gratuites que nous ne trouvons que 1542 ans pour le temps employé à la consolidation du globe jusqu'au centre. Mais il me paroît certain que cette estimation du temps est de beaucoup trop foible, par l'observation constante que j'ai faite sur la prise de consistance des gueuses à la tête et à la queue; car il faut trois fois autant de temps et plus pour que la partie de la gueuse qui est à 18 pieds du fourneau prenne consistance, c'est-à-dire que si la surface de la tête de la gueuse, qui est à 18 pieds du fourneau, prend consistance en 1 minute $^1/_2$, celle de la queue, qui n'est qu'à 2 pieds du fourneau, ne prend consistance qu'en 4 minutes $^1/_2$ ou 5 minutes; en sorte que la chaleur plus grande de l'air contribue prodigieusement au maintien de la fluidité; et l'on conviendra sans peine

avec moi que, dans ce premier temps de liquéfaction du globe de la terre, la chaleur de l'atmosphère de vapeurs qui l'environnoit étoit plus grande que celle de l'air à 2 pieds de distance du feu de mon fourneau, et que par conséquent il a fallu beaucoup plus de temps pour consolider le globe jusqu'au centre. Or nous avons démontré, par les expériences du premier mémoire, qu'un globe de fer, gros comme la terre, pénétré du feu seulement jusqu'au rouge, seroit plus de 96670 ans à se refroidir, auxquels ajoutant 2 ou 3000 ans pour le temps de sa consolidation jusqu'au centre, il résulte qu'en tout il faudroit environ 100,000 ans pour refroidir au point de la température actuelle un globe de fer gros comme la terre, sans compter la durée du premier état de liquéfaction; ce qui recule encore les limites du temps, qui semble fuir et s'étendre à mesure que nous cherchons à le saisir. Mais tout ceci sera plus amplement discuté et déterminé plus précisément dans les mémoires suivants.

NEUVIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la fusion des mines de fer.

Je ne pourrai guère mettre d'autre liaison entre ces mémoires, ni d'autre ordre entre mes différentes

expériences, que celui du temps ou plutôt de la succession de mes idées. Comme je ne me trouvois pas assez instruit dans la connoissance des minéraux, que je n'étois pas satisfait de ce qu'on en dit dans les livres, que j'avois bien de la peine à entendre ceux qui traitent de la chimie, où je voyois d'ailleurs des principes précaires, toutes les expériences faites en petit et toujours expliquées dans l'esprit d'une même méthode, j'ai voulu travailler par moi-même; et consultant plutôt mes désirs que ma force, j'ai commencé par faire établir, sous mes yeux, des forges et des fourneaux en grand, que je n'ai pas cessé d'exercer continuellement depuis sept ans.

Le petit nombre d'auteurs qui ont écrit sur les mines de fer ne donnent, pour ainsi dire, qu'une nomenclature assez inutile, et ne parlent point des différents traitements de chacune de ces mines. Ils comprennent dans les mines de fer l'aimant, l'émeril, l'hématite, etc., qui sont en effet des minéraux ferrugineux en partie, mais qu'on ne doit pas regarder comme de vraies mines de fer, propres à être fondues et converties en ce métal; nous ne parlerons ici que de celles dont on doit faire usage, et on peut les réduire à deux espèces principales.

La première est la mine en roche, c'est-à-dire en masses dures, solides, et compactes, qu'on ne peut tirer et séparer qu'à force de coins, de marteaux, et de masses, et qu'on pourroit appeler *pierre de fer*. Ces mines ou roches de fer se trouvent en Suède, en Allemagne, dans les Alpes, dans les Pyrénées, et généralement dans la plupart des hautes montagnes de la terre, mais en bien plus grande quantité vers le Nord

que du côté du Midi. Celles de Suède sont de couleur de fer pour la plupart, et paroissent être du fer presque à demi préparé par la nature : il y en a aussi de couleur brune, rouge, ou jaunâtre ; il y en a même de toutes blanches à Allevard en Dauphiné, ainsi que d'autres couleurs ; ces dernières mines semblent être composées comme du spath, et on ne reconnoît qu'à leur pesanteur, plus grande que celle des autres spaths, qu'elles contiennent une grande quantité de métal. On peut aussi s'en assurer en les mettant au feu ; car de quelque couleur qu'elles soient, blanches, grises, jaunes, rousses, verdâtres, bleuâtres, violettes, ou rouges, toutes deviennent noires à une légère calcination. Les mines de Suède, qui, comme je l'ai dit, semblent être de la pierre de fer, sont attirées par l'aimant ; il en est de même de la plupart des autres mines en roche, et généralement de toute matière ferrugineuse qui a subi l'action du feu. Les mines de fer en grains, qui ne sont point du tout magnétiques, le deviennent lorsqu'on les fait griller au feu : ainsi les mines de fer en roches et en grandes masses étant magnétiques doivent leur origine à l'élément du feu. Celles de Suède, qui ont été les mieux observées, sont très étendues et très profondes ; les filons sont perpendiculaires, toujours épais de plusieurs pieds, et quelquefois de quelques toises ; on les travaille comme on travailleroit de la pierre très dure dans une carrière. On y trouve souvent de l'asbeste, ce qui prouve encore que ces mines ont été formées par le feu.

Les mines de la seconde espèce ont, au contraire, été formées par l'eau, tant du détriment des premières, que de toutes les particules de fer que les

végétaux et les animaux rendent à la terre par la décomposition de leur substance : ces mines formées par l'eau sont le plus ordinairement en grains arrondis, plus ou moins gros, mais dont aucun n'est attirable par l'aimant avant d'avoir subi l'action du feu, ou plutôt celle de l'air par le moyen du feu : car, ayant fait griller plusieurs de ces mines dans des vaisseaux ouverts, elles sont toutes devenues très attirables à l'aimant, au lieu que dans les vaisseaux clos, quoique chauffées à un plus grand feu et pendant plus de temps, elles n'avoient point du tout acquis la vertu magnétique.

On pourroit ajouter à ces mines en grains formées par l'eau une seconde espèce de mine souvent plus pure, mais bien plus rare, qui se forme également par l'eau : ce sont les mines de fer cristallisées. Mais comme je n'ai pas été à portée de traiter par moi-même les mines de fer en roche produites par le feu, non plus que les mines de fer cristallisées par l'eau, je ne parlerai que de la fusion des mines en grains, d'autant que ces dernières mines sont celles qu'on exploite le plus communément dans nos forges de France.

La première chose que j'ai trouvée, et qui me paroît être une découverte utile, c'est qu'avec une mine qui donnoit le plus mauvais fer de la province de Bourgogne, j'ai fait du fer aussi ductile, aussi nerveux, aussi ferme, que les fers du Berri, qui sont réputés les meilleurs de France. Voici comme j'y suis parvenu : le chemin que j'ai tenu est bien plus long ; mais personne, avant moi, n'ayant frayé la route, on ne sera pas étonné que j'aie fait du circuit.

J'ai pris le dernier jour d'un fondage, c'est-à-dire le jour où l'on alloit faire cesser le feu d'un fourneau à fondre la mine de fer, qui duroit depuis plus de quatre mois. Ce fourneau, d'environ 20 pieds de hauteur, et de 5 pieds 1/2 de largeur à sa cuve, étoit bien chauffé, et n'avoit été chargé que de cette mine, qui avoit la fausse réputation de ne pouvoir donner que des fontes très blanches, très cassantes, et par conséquent du fer à très gros grain, sans nerf et sans ductilité. Comme j'étois dans l'idée que la trop grande violence du feu ne peut qu'aigrir le fer, j'employai ma méthode ordinaire, et que j'ai suivie constamment dans toutes mes recherches sur la nature, qui consiste à voir les extrêmes avant de considérer les milieux : je fis donc, non pas ralentir, mais enlever les soufflets; et ayant fait en même temps découvrir le toit de la halle, je substituai aux soufflets un ventilateur simple, qui n'étoit qu'un cône creux, de 24 pieds de longueur sur 4 pieds de diamètre au gros bout, et trois pouces seulement à sa pointe, sur laquelle on adapta une buse de fer, et qu'on plaça dans le trou de la tuyère ; en même temps, on continuoit à charger de charbon et de mine, comme si l'on eût voulu continuer à couler : les charges descendoient bien plus lentement, parce que le feu n'étoit plus animé par le vent des soufflets ; il l'étoit seulement par un courant d'air que le ventilateur tiroit d'en haut, et qui, étant plus frais et plus dense que celui du voisinage de la tuyère, arrivoit avec assez de vitesse pour produire un murmure constant dans l'intérieur du fourneau. Lorsque j'eus fait charger environ deux milliers de charbon, et quatre mil-

liers de mine, je fis discontinuer. pour ne pas trop embarrasser le fourneau; et le ventilateur étant toujours à la tuyère, je laissai baisser les charbons et la mine sans remplir le vide qu'ils laissoient au dessus. Au bout de quinze ou seize heures, il se forma de petites loupes, dont on tira quelques unes par le trou de la tuyère, et quelques autres par l'ouverture de la coulée: le feu dura quatre jours de plus, avant que le charbon fût entièrement consumé; et, dans cet intervalle de temps, on tira des loupes plus grosses que les premières; et, après les quatre jours, on en trouva de plus grosses encore en vidant le fourneau.

Après avoir examiné ces loupes, qui me parurent être d'une très bonne étoffe, et dont la plupart portoient à leur circonférence un grain fin et tout semblable à celui de l'acier, je les fis mettre au feu de l'affinerie et porter sous le marteau: elles en soutinrent le coup sans se diviser, sans s'éparpiller en étincelles, sans donner une grande flamme, sans laisser couler beaucoup de laitier; choses qui toutes arrivent lorsqu'on forge du mauvais fer. On les forgea à la manière ordinaire: les barres qui en provenoient n'étoient pas toutes de la même qualité; les unes étoient de fer, les autres d'acier, et le plus grand nombre de fer par un bout ou par un côté, et d'acier par l'autre. J'en ai fait faire des poinçons et des ciseaux, par des ouvriers qui trouvèrent cet acier aussi bon que celui d'Allemagne. Les barres qui n'étoient que de fer étoient si fermes, qu'il fut impossible de les rompre avec la masse, et qu'il fallut employer le ciseau d'acier pour les entamer profondément des deux côtés avant de pouvoir les rompre; ce fer étoit tout nerf,

et ne pouvoit se séparer qu'en se déchirant par le plus grand effort. En le comparant au fer que donne cette même mine fondue en gueuse à la manière ordinaire, on ne pouvoit se persuader qu'il provenoit de la même mine, dont on n'avoit jamais tiré que du fer à gros grain, sans nerf et très cassant.

La quantité de mine que j'avois employée dans cette expérience auroit dû produire au moins 1200 livres de fonte, c'est-à-dire environ 800 livres de fer, si elle eût été fondue par la méthode ordinaire, et je n'avois obtenu que 280 livres, tant d'acier que de fer, de toutes les loupes que j'avois réunies; et en supposant un déchet de moitié du mauvais fer au bon, et de trois quarts de mauvais fer à l'acier, je voyois que ce produit ne pouvoit équivaloir qu'à 500 livres de mauvais fer, et que, par conséquent, il y avoit eu plus du quart de mes quatre milliers de mine qui s'étoit consumé en pure perte, et en même temps près du tiers du charbon brûlé sans produit.

Ces expériences étant donc excessivement chères, et voulant néanmoins les suivre, je pris le parti de faire construire deux fourneaux plus petits; tous deux cependant de 14 pieds de hauteur, mais dont la capacité intérieure du second étoit d'un tiers plus petite que celle du premier. Il falloit, pour charger et remplir en entier mon grand fourneau de fusion, 135 corbeilles de charbon de 40 livres chacune, c'est-à-dire 5400 livres de charbon, au lieu que, dans mes petits fourneaux, il ne falloit que 900 livres de charbon pour remplir le premier, et 600 livres pour remplir le second; ce qui diminuoit considérablement les trop grands frais de ces expériences. Je fis adosser ces

fourneaux l'un à l'autre, afin qu'ils pussent profiter de leur chaleur mutuelle : ils étoient séparés par un mur de 3 pieds, et environnés d'un autre mur de 4 pieds d'épaisseur; le tout bâti en bon moellon, et de la même pierre calcaire dont on se sert dans le pays pour faire les étalages des grands fourneaux. La forme de la cavité de ces petits fourneaux étoit pyramidale sur une base carrée, s'élevant d'abord perpendiculairement à 3 pieds de hauteur, et ensuite s'inclinant en dedans sur le reste de leur élévation, qui étoit de 11 pieds : de sorte que l'ouverture supérieure se trouvoit réduite à 14 pouces au plus grand fourneau, et 11 pouces au plus petit. Je ne laissai dans le bas qu'une seule ouverture à chacun de mes fourneaux; elle étoit surbaissée en forme de voûte ou de lunette, dont le sommet ne s'élevoit qu'à 2 pieds $^1/_2$ dans la partie intérieure, et à 4 pieds en dehors; je faisois remplir cette ouverture par un petit mur de briques, dans lequel on laissoit un trou de quelques pouces en bas pour écouler le laitier, et un autre trou à 1 pied $^1/_2$ de hauteur pour pomper l'air. Je ne donne point ici la figure de ces fourneaux, parce qu'ils n'ont pas assez bien réussi pour que je prétende les donner pour modèles, et que d'ailleurs j'y ai fait et j'y fais encore des changements essentiels à mesure que l'expérience m'apprend quelque chose de nouveau. D'ailleurs, ce que je viens de dire suffit pour en donner une idée, et aussi pour l'intelligence de ce qui suit.

Ces fourneaux étoient placés de manière que leur face antérieure, dans laquelle étoient les ouvertures en lunette, se trouvoit parallèle au courant d'eau qui

fait mouvoir les roues des soufflets de mon grand fourneau et de mes affineries, en sorte que le grand entonnoir ou ventilateur dont j'ai parlé pouvoit être posé de manière qu'il recevoit sans cesse un air frais par le mouvement des roues; il portoit cet air au fourneau auquel il aboutissoit par sa pointe, qui étoit une buse ou tuyau de fer de forme conique, et d'un pouce et demi de diamètre à son extrémité. Je fis faire en même temps deux tuyaux d'aspiration, l'un de 10 pieds de longueur sur 14 pouces de largeur pour le plus grand de mes petits fourneaux, et l'autre de 7 pieds de longueur et de 11 pouces de côté pour le plus petit. Je fis ces tuyaux d'aspiration carrés, parce que les ouvertures du dessus des fourneaux étoient carrées, et que c'étoit sur ces ouvertures qu'il falloit les poser; et quoique ces tuyaux fussent faits d'une tôle assez légère, sur un châssis de fer mince, ils ne laissoient pas d'être pesants, et même embarrassants par leur volume, surtout quand ils étoient fort échauffés : quatre hommes avoient assez de peine pour les placer et les replacer; ce qui cependant étoit nécessaire toutes les fois qu'il falloit charger les fourneaux.

J'y ai fait dix-sept expériences, dont chacune duroit ordinairement deux ou trois jours et deux ou trois nuits. Je n'en donnerai pas le détail, non seulement parce qu'il seroit fort ennuyeux, mais même assez inutile, attendu que je n'ai pu parvenir à une méthode fixe, tant pour conduire le feu, que pour le forcer à donner toujours le même produit. Je dois donc me borner aux simples résultats de ces expériences qui m'ont démontré plusieurs vérités que je crois très utiles.

La première, c'est qu'on peut faire de l'acier de la meilleure qualité sans employer du fer comme on le fait communément, mais seulement en faisant fondre la mine à un feu long et gradué. De mes dix-sept expériences, il y en a eu six où j'ai eu de l'acier bon et médiocre, sept où je n'ai eu que du fer, tantôt très bon, et tantôt mauvais, et quatre où j'ai eu une petite quantité de fonte et du fer environné d'excellent acier. On ne manquera pas de me dire : Donnez-nous donc au moins le détail de celles qui vous ont produit du bon acier. Ma réponse est aussi simple que vraie : c'est qu'en suivant les mêmes procédés aussi exactement qu'il m'étoit possible, en chargeant de la même façon, mettant la même quantité de mine et de charbon, ôtant et mettant le ventilateur et les tuyaux d'aspiration pendant un temps égal, je n'en ai pas moins eu des résultats tout différents. La seconde expérience me donna de l'acier par les mêmes procédés que la première, qui ne m'avoit produit que du fer d'une qualité assez médiocre ; la troisième, par les mêmes procédés, m'a donné de très bon fer ; et quand après cela j'ai voulu varier la suite des procédés et changer quelque chose à mes fourneaux, le produit en a peut-être moins varié par ces grands changements qu'il n'avoit fait par le seul caprice du feu, dont les effets et la conduite sont si difficiles à suivre, qu'on ne peut les saisir ni même les deviner qu'après une infinité d'épreuves et de tentatives qui ne sont pas toujours heureuses. Je dois donc me borner à dire ce que j'ai fait, sans anticiper sur ce que des artistes plus habiles pourront faire ; car il est certain qu'on parviendra à une méthode sûre de tirer de

l'acier de toute mine de fer sans la faire couler en gueuses, et sans convertir la fonte en fer.

C'est ici la seconde vérité, aussi utile que la première. J'ai employé trois différentes sortes de mines dans ces expériences; j'ai cherché, avant de les employer, le moyen d'en bien connoître la nature. Ces trois espèces de mines étoient, à la vérité, toutes les trois en grains plus ou moins fins; je n'étois pas à portée d'en avoir d'autres, c'est-à-dire des mines en roche, en assez grande quantité pour faire mes expériences : mais je suis bien convaincu, après avoir fait les épreuves de mes trois différentes mines en grains, et qui toutes trois m'ont donné de l'acier sans fusion précédente, que les mines en roche, et toutes les mines de fer en général, pourroient donner également de l'acier en les traitant comme j'ai traité les mines en grains. Dès lors il faut donc bannir de nos idées le préjugé si anciennement, si universellement reçu, que *la qualité du fer dépend de celle de la mine.* Rien n'est plus mal fondé que cette opinion; c'est au contraire uniquement de la conduite du feu et de la manipulation de la mine que dépend la bonne ou la mauvaise qualité de la fonte du fer et de l'acier. Il faut encore bannir un autre préjugé, c'est qu'*on ne peut avoir de l'acier qu'en le tirant du fer;* tandis qu'il est très possible au contraire d'en tirer immédiatement de toutes sortes de mines. On rejettera donc en conséquence les idées de M. Yonge et de quelques autres chimistes qui ont imaginé qu'il y avoit des mines qui avoient la qualité particulière de pouvoir donner de l'acier à l'exclusion de toutes les autres.

Une troisième vérité que j'ai recueillie de mes ex-

périences, c'est que toutes nos mines de fer en grains, telles que celles de Bourgogne, de Champagne, de Franche-Comté, de Lorraine, du Nivernois, de l'Angoumois, etc., c'est-à-dire presque toutes les mines dont on fait nos fers en France, ne contiennent point de soufre comme les mines en roche de Suède ou d'Allemagne, et que par conséquent elles n'ont pas besoin d'être grillées, ni traitées de la même manière. Le préjugé du soufre contenu en grande quantité dans les mines de fer nous est venu des métallurgistes du Nord, qui, ne connoissant que leurs mines en roche qu'on tire de la terre à de grandes profondeurs, comme nous tirons des pierres d'une carrière, ont imaginé que toutes les mines de fer étoient de la même nature, et contenoient, comme elles, une grande quantité de soufre; et, comme les expériences sur les mines de fer sont très difficiles à faire, nos chimistes s'en sont rapportés aux métallurgistes du Nord, et ont écrit, comme eux, qu'il y avoit beaucoup de soufre dans nos mines de fer, tandis que toutes les mines en grains que je viens de citer n'en contiennent point du tout, ou si peu, qu'on n'en sent pas l'odeur, de quelque façon qu'on les brûle. Les mines en roche ou en pierre dont j'ai fait venir des échantillons de Suède, et d'Allemagne, répandent au contraire une forte odeur de soufre lorsqu'on les fait griller, et en contiennent réellement une très grande quantité, dont il faut les dépouiller avant de les mettre au fourneau pour les fondre.

Et de là suit une quatrième vérité tout aussi intéressante que les autres : c'est que nos mines en grains valent mieux que ces mines en roche tant vantées,

et que si nous ne faisons pas du fer aussi bon ou meilleur que celui de Suède, c'est purement notre faute, et point du tout celle de nos mines, qui toutes nous donneroient des fers de la première qualité, si nous les traitions avec le même soin que prennent les étrangers pour arriver à ce but; il nous est même plus aisé de l'atteindre, nos mines ne demandent pas, à beaucoup près, autant de travaux que les leurs. Voyez dans Swedenborg le détail de ces travaux : la seule extraction de la plupart de ces mines en roche qu'il faut aller arracher du sein de la terre, à 3 ou 400 pieds de profondeur, casser à coups de marteaux, de masses et de leviers, enlever ensuite par des machines jusqu'à la hauteur de terre, doit coûter beaucoup plus que le tirage de nos mines en grains, qui se fait, pour ainsi dire, à fleur de terrain, et sans autres instruments que la pioche et la pelle. Ce premier avantage n'est pas encore le plus grand; car il faut reprendre ces quartiers, ces morceaux de pierres de fer, les porter sous les maillets d'un bocard pour les concasser, les broyer et les réduire au même état de division où nos mines en grains se trouvent naturellement; et comme cette mine concassée contient une grande quantité de soufre, elle ne produiroit que de très mauvais fer si on ne prenoit pas la précaution de lui enlever la plus grande partie de ce soufre surabondant, avant de la jeter au fourneau. On la répand à cet effet sur des bûchers d'une vaste étendue, où elle se grille pendant quelques semaines. Cette consommation très considérable de bois, jointe à la difficulté de l'extraction de la mine, rendroit la chose impraticable en France, à cause de la cherté des bois. Nos mines heu-

reusement n'ont pas besoin d'être grillées, et il suffit de les laver pour les séparer de la terre avec laquelle elles sont mêlées; la plupart se trouvent à quelques pieds de profondeur : l'exploitation de nos mines se fait donc à beaucoup moins de frais, et cependant nous ne profitons pas de tous ces avantages, ou du moins nous n'en avons pas profité jusqu'ici, puisque les étrangers nous apportent leurs fers qui leur coûtent tant de peines, et que nous les achetons de préférence aux nôtres, sur la réputation qu'ils ont d'être de meilleure qualité.

Ceci tient à une cinquième vérité, qui est plus morale que physique : c'est qu'il est plus aisé, plus sûr, et plus profitable de faire, surtout en ce genre, de la mauvaise marchandise que de la bonne. Il est bien plus commode de suivre la routine qu'on trouve établie dans les forges, que de chercher à en perfectionner l'art. Pourquoi vouloir faire du bon fer? disent la plupart des maîtres de forge; on ne le vendra pas une pistole au dessus du fer commun, et il nous reviendra peut-être à trois ou quatre de plus, sans compter les risques et les frais des expériences et des essais, qui ne réussissent pas tous à beaucoup près. Malheureusement cela n'est que trop vrai; nous ne profiterons jamais de l'avantage naturel de nos mines, ni même de notre intelligence, qui vaut bien celle des étrangers, tant que le gouvernement ne donnera pas à cet objet plus d'attention, tant qu'on ne favorisera pas le petit nombre des manufactures où l'on fait de bon fer, et qu'on permettra l'entrée des fers étrangers. Il me semble que l'on peut démontrer avec la dernière évidence le tort que cela fait aux arts et à

l'État; mais je m'écarterois trop de mon sujet si j'entrois ici dans cette discussion.

Tout ce que je puis assurer comme une sixième vérité, c'est qu'avec toutes sortes de mines on peut toujours obtenir du fer de même qualité. J'ai fait brûler et fondre successivement dans mon plus grand fourneau, qui a 23 pieds de hauteur, sept espèces de mines différentes, tirées à deux, trois et quatre lieues de distance les unes des autres, dans des terrains tous différents, les unes en grains plus gros que des pois, les autres en grains gros comme des chevrotines, plomb à lièvre, et les autres plus menues que le plus petit plomb à tirer; et de ces sept différentes espèces de mines dont j'ai fait fondre plusieurs centaines de milliers, j'ai toujours eu le même fer. Ce fer est bien connu, non seulement dans la province de Bourgogne, où sont situées mes forges, mais même à Paris, où s'en fait le principal débit, et il est regardé comme de très bonne qualité. On seroit donc fondé à croire que j'ai toujours employé la même mine, qui, toujours traitée de la même façon, m'auroit constamment donné le même produit; tandis que, dans le vrai, j'ai usé de toutes les mines que j'ai pu découvrir, et que ce n'est qu'en vertu des précautions et des soins que j'ai pris de les traiter différemment, que je suis parvenu à en tirer un résultat semblable et un produit de même qualité. Voici les observations et les expériences que j'ai faites à ce sujet; elles seront utiles et même nécessaires à tous ceux qui voudront connoître la qualité des mines qu'ils emploient.

Nos mines de fer en grains ne se trouvent jamais pures dans le sein de la terre; toutes sont mélangées

d'une certaine quantité de terre qui peut se délayer dans l'eau, et d'un sable plus ou moins fin, qui, dans de certaines mines, est de nature calcaire, dans d'autres de nature vitrifiable, et quelquefois mêlé de l'une et de l'autre; je n'ai pas vu qu'il y eût aucun autre mélange dans les sept espèces de mines que j'ai traitées et fondues avec un égal succès. Pour reconnoître la quantité de terre qui doit se délayer dans l'eau, et que l'on peut espérer de séparer de la mine au lavage, il faut en peser une petite quantité dans l'état même où elle sort de la terre, la faire ensuite sécher, et mettre en compte le poids de l'eau qui se sera dissipée par le desséchement. On mettra cette terre séchée dans un vase que l'on remplira d'eau, et on la remuera; dès que l'eau sera jaune ou bourbeuse, on la versera dans un autre vase plat pour en faire évaporer l'eau par le moyen du feu; après l'évaporation, on mettra à part le résidu terreux. On réitérera cette même manipulation jusqu'à ce que la mine ne colore plus l'eau qu'on verse dessus; ce qui n'arrive jamais qu'après un grand nombre de lotions. Alors on réunit ensemble tous ces résidus terreux, et on les pèse pour reconnoître leur quantité relative à celle de la mine.

Cette première partie du mélange de la mine étant connue et son poids constaté, il restera les grains de mine et les sables que l'eau n'a pu délayer: si ces sables sont calcaires, il faudra les faire dissoudre à l'eau-forte, et on en reconnoîtra la quantité en les faisant précipiter après les avoir dissous; on les pèsera, et dès lors on saura au juste combien la mine contient de terre, de sable calcaire et de fer en grains. Par exemple, la mine dont je me suis servi pour la pre-

mière expérience de ce mémoire contenoit par once 1 gros $1/2$ de terre délayée par l'eau, 1 gros 55 grains de sable dissous par l'eau-forte, 3 gros 66 grains de mine de fer, et il y a eu 59 grains de perdus dans les lotions et dissolutions. C'est M. Daubenton, de l'Académie des Sciences, qui a bien voulu faire cette expérience à ma prière, et qui l'a faite avec toute l'exactitude qu'il apporte à tous les sujets qu'il traite.

Après cette épreuve, il faut examiner attentivement la mine dont on vient de séparer la terre et le sable calcaire, et tâcher de reconnoître, à la seule inspection, s'il ne se trouve pas encore, parmi les grains de fer, des particules d'autres matières que l'eau-forte n'auroit pu dissoudre, et qui par conséquent ne seroient pas calcaires. Dans celle dont je viens de parler, il n'y en avoit point du tout, et dès lors j'étois assuré que sur une quantité de 576 livres de cette mine, il y avoit 282 parties de mine de fer, 127 de matière calcaire, et le reste de terre qui peut se délayer à l'eau. Cette connoissance une fois acquise, il sera aisé d'en tirer les procédés qu'il faut suivre pour faire fondre la mine avec avantage et avec certitude d'en obtenir du bon fer, comme nous le dirons dans la suite.

Dans les six autres espèces de mines que j'ai employées, il s'en est trouvé quatre dont le sable n'étoit point dissoluble à l'eau-forte, et dont par conséquent la nature n'étoit pas calcaire, mais vitrifiable; et les deux autres, qui étoient à plus gros grains de fer que les cinq premières, contenoient des graviers calcaires en assez petite quantité, et de petits cailloux arrondis, qui étoient de la nature de la calcédoine, et qui res-

sembloient par la forme aux chrysalides des fourmis : les ouvriers employés à l'extraction et au lavage des mines les appeloient *œufs de fourmis*. Chacune de ces mines exige une suite de procédés différents pour les fondre avec avantage et pour en tirer du fer de même qualité.

Ces procédés, quoique assez simples, ne laissent pas d'exiger une grande attention ; comme il s'agit de travailler sur des milliers de quintaux de mine, on est forcé de chercher tous les moyens et de prendre toutes les voies qui peuvent aller à l'économie : j'ai acquis sur cela de l'expérience à mes dépens, et je ne ferai pas mention des méthodes qui, quoique plus précises et meilleures que celles dont je vais parler, seroient trop dispendieuses pour pouvoir être mises en pratique. Comme je n'ai pas eu d'autre but dans mon travail que celui de l'utilité publique, j'ai tâché de réduire ces procédés à quelque chose d'assez simple pour pouvoir être entendu et exécuté par tous les maîtres de forges qui voudront faire du bon fer, mais néanmoins en les prévenant d'avance que ce bon fer leur coûtera plus que le fer commun qu'ils ont coutume de fabriquer, par la même raison que le pain blanc coûte plus que le pain bis : car il ne s'agit de même que de cribler, tirer et séparer le bon grain de toutes les matières hétérogènes dont il se trouve mélangé.

Je parlerai ailleurs de la recherche et de la découverte des mines : mais je suppose ici les mines toutes trouvées et tirées ; je suppose aussi que par des épreuves semblables à celles que je viens d'indiquer on connoisse la nature des sables qui y sont mélangés. La

première opération qu'il faut faire, c'est de les transporter aux lavoirs, qui doivent être d'une construction différente selon les différentes mines : celles qui sont en grains plus gros que les sables qu'elles contiennent doivent être lavées dans des lavoirs foncés de fer et percés de petits trous comme ceux qu'a proposés M. Robert, et qui sont très bien imaginés; car ils servent en même temps de lavoirs et de cribles : l'eau emmène avec elle toute la terre qu'elle peut délayer, et les sablons plus menus que les grains de la mine passent en même temps par les petits trous dont le fond du lavoir est percé; et dans le cas où les sablons sont aussi gros, mais moins durs que le grain de la mine, le râble de fer les écrase, et ils tombent avec l'eau au dessous du lavoir; la mine reste nette et assez pure pour qu'on la puisse fondre avec économie. Mais ces mines, dont les grains sont plus gros et plus durs que ceux des sables ou petits cailloux qui y sont mélangés, sont assez rares. Des sept espèces de mines que j'ai eu occasion de traiter, il ne s'en est trouvé qu'une qui fût dans le cas d'être lavée à ce lavoir, que j'ai fait exécuter et qui a bien réussi; cette mine est celle qui ne contenoit que du sable calcaire, qui communément est moins dur que le grain de la mine. J'ai néanmoins observé que les râbles de fer, en frottant contre le fond du lavoir, qui est aussi de fer, ne laissoient pas d'écraser une assez grande quantité de grains de mine, qui, dès lors, passoient avec le sable et tomboient en pure perte sous le lavoir; et je crois cette perte inévitable dans les lavoirs foncés de fer. D'ailleurs la quantité de castine que M. Robert étoit obligé de mêler à ses mines, et qu'il dit être

d'un tiers de la mine, prouve qu'il restoit encore, après le lavage, une portion considérable de sablon vitrifiable, ou de terre vitrescible, dans ces mines ainsi lavées; car il n'auroit eu besoin que d'un sixième ou même d'un huitième de castine, si les mines eussent été plus épurées, c'est-à-dire plus dépouillées de la terre grasse ou du sable vitrifiable qu'elles contenoient.

Au reste, il n'étoit pas possible de se servir de ce même lavoir pour les autres six espèces de mines que j'ai eues à traiter; de ces six il y en avoit quatre qui se sont trouvées mêlées d'un sablon vitrescible aussi dur et même plus dur et en même temps plus gros ou aussi gros que les grains de la mine. Pour épurer ces quatre espèces de mines, je me suis servi de lavoirs ordinaires et foncés de bois plein, avec un courant d'eau plus rapide qu'à l'ordinaire: on les passoit neuf fois de suite à l'eau; et à mesure que le courant vif de l'eau emportoit la terre et le sablon le plus léger et le plus petit, on faisoit passer la mine dans des cribles de fil de fer assez serrés pour retenir tous les petits cailloux plus gros que les grains de la mine. En lavant ainsi neuf fois et criblant trois fois, on parvenoit à ne laisser dans ces mines qu'environ un cinquième ou un sixième de ces petits cailloux ou sablons vitrescibles, et c'étoit ceux qui, étant de la même grosseur que les grains de la mine, étoient aussi de la même pesanteur, en sorte qu'on ne pouvoit les séparer ni par le lavoir ni par le crible. Après cette première préparation, qui est tout ce qu'on peut faire par le moyen du lavoir et des cribles à l'eau, la mine étoit assez nette pour pouvoir être mise au fourneau; et comme elle

étoit encore mélangée d'un cinquième ou d'un sixième de matières vitrescibles, on pouvoit la fondre avec un quart de castine ou matière calcaire, et en obtenir de très bon fer en ménageant les charges, c'est-à-dire en mettant moins de mine que l'on n'en met ordinairement : mais comme alors on ne fond pas à profit, parce qu'on use une grande quantité de charbon, il faut encore tâcher d'épurer sa mine avant de la jeter au fourneau. On ne pourra guère en venir à bout qu'en la faisant vanner et cribler à l'air, comme l'on vanne et crible le blé. J'ai séparé par ces moyens encore plus d'une moitié de matières hétérogènes qui restoient dans mes mines; et, quoique cette dernière opération soit longue et même assez difficile à exécuter en grand, j'ai reconnu, par l'épargne du charbon, qu'elle étoit profitable : il en coûtoit vingt sous pour vanner et cribler quinze cents pesant de mine; mais on épargnoit au fourneau trente-cinq sous de charbon pour la fondre. Je crois donc que quand cette pratique sera connue on ne manquera pas de l'adopter. La seule difficulté qu'on y trouvera, c'est de faire sécher assez les mines pour les faire passer au crible et les vanner avantageusement. Il y a très peu de matières qui retiennent l'humidité aussi long-temps que les mines de fer en grains[1]; une seule pluie les rend hu-

1. Pour reconnoître la quantité d'humidité qui réside dans la mine de fer, j'ai fait sécher, et, pour ainsi dire, griller dans un four très chaud, trois cents livres de celle qui avoit été la mieux lavée, et qui s'étoit déjà séchée à l'air; et ayant pesé cette mine au sortir du four, elle ne pesoit plus que deux cent cinquante livres : ainsi la quantité de la matière humide ou volatile que la chaleur lui enlève est à très peu près d'un sixième de son poids total, et je suis persuadé que si on la grilloit à un feu plus violent, elle perdroit encore plus.

mides pour plus d'un mois. Il faut donc des hangars couverts pour les déposer; il faut les étendre par petites couches de trois ou quatre pouces d'épaisseur, les remuer, les exposer au soleil; en un mot, les sécher autant qu'il est possible; sans cela, le van ni le crible ne peuvent faire leur effet. Ce n'est qu'en été qu'on peut y travailler; et quand il s'agit de faire passer au crible quinze ou dix-huit cents milliers de mine que l'on brûle au fourneau dans cinq ou six mois, on sent bien que le temps doit toujours manquer, et il manque en effet; car je n'ai pu par chaque été faire traiter ainsi qu'environ cinq ou six cents milliers : cependant, en augmentant l'espace des hangars, et en doublant les machines et les hommes, on en viendroit à bout; et l'économie qu'on trouveroit par la moindre consommation de charbon dédommageroit et au delà de tous ces frais.

On doit traiter de même les mines qui sont mélangées de graviers calcaires et de petits cailloux ou de sable vitrescible; en séparer le plus que l'on pourra de cette seconde matière, à laquelle la première sert de fondant, et que, par cette raison, il n'est pas nécessaire d'ôter, à moins qu'elle ne fût en trop grande quantité : j'en ai travaillé deux de cette espèce; elles sont plus fusibles que les autres, parce qu'elles contiennent une bonne quantité de castine, et qu'il ne leur en faut ajouter que peu ou même point du tout, dans le cas où il n'y auroit que peu ou point de matières vitrescibles.

Lorsque les mines de fer ne contiennent point de matières vitrescibles, et ne sont mélangées que de matières calcaires, il faut tâcher de reconnoître la pro-

portion du fer et de la matière calcaire, en séparant les grains de mine un à un sur une petite quantité, ou en dissolvant à l'eau-forte les parties calcaires, comme je l'ai dit ci-devant. Lorsqu'on se sera assuré de cette proportion, on saura tout ce qui est nécessaire pour fondre ces mines avec succès. Par exemple, la mine qui a servi à la première expérience, et qui contenoit 1 gros 55 grains de sable calcaire, sur 3 gros 66 grains de fer en grains, et dont il s'étoit perdu 59 grains dans les lotions et la dissolution, étoit par conséquent mélangée d'environ un tiers de castine ou de matière calcaire, sur deux tiers de fer en grains. Cette mine porte donc naturellement sa castine; et on ne peut que gâter la fonte si on ajoute encore de la matière calcaire pour la fondre : il faut, au contraire, y mêler des matières vitrescibles, et choisir celles qui se fondent le plus aisément. En mettant un quinzième ou même un seizième de terre vitrescible, qu'on appelle *aubue*, j'ai fondu cette mine avec un grand succès, et elle m'a donné d'excellent fer, tandis qu'en la fondant avec une addition de castine, comme c'étoit l'usage dans le pays avant moi, elle ne produisoit qu'une mauvaise fonte qui cassoit par son propre poids sur les rouleaux en la conduisant à l'affinerie. Ainsi, toutes les fois qu'une mine de fer se trouve naturellement surchargée d'une grande quantité de matières calcaires, il faut, au lieu de castine, employer de l'aubue pour la fondre avec avantage. On doit préférer cette terre aubue à toutes les autres matières vitrescibles, parce qu'elle fond plus aisément que le caillou, le sable cristallin, et les autres matières du genre vitrifiable qui pourroient faire le même effet, mais qui

exigeroient plus de charbon pour se fondre. D'ailleurs cette terre aubue se trouve presque partout, et est la terre la plus commune de nos campagnes. En se fondant elle saisit les sablons, les pénètre, les ramollit, et les fait couler avec elle plus promptement que ne pourroit le faire le petit caillou ou le sable vitrescible, auxquels il faut beaucoup plus de feu pour les fondre.

On est dans l'erreur lorsqu'on croit que la mine de fer ne peut se fondre sans castine; on peut la fondre non seulement sans castine, mais même sans aubue et sans aucun autre fondant, lorsqu'elle est nette et pure : mais il est vrai qu'alors il se brûle une quantité assez considérable de mine qui tombe en mauvais laitier, et qui diminue le produit de la fonte. Il s'agit donc, pour fondre le plus avantageusement qu'il est possible, de trouver d'abord quel est le fondant qui convient à la mine, et ensuite dans quelle proportion il faut lui donner ce fondant pour qu'elle se convertisse entièrement en fonte de fer, et qu'elle ne brûle pas avant d'entrer en fusion. Si la mine est mêlée d'un tiers ou d'un quart de matières vitrescibles, et qu'il ne s'y trouve aucune matière calcaire, alors un demi-tiers ou un demi-quart de matières calcaires suffira pour la fondre; et si, au contraire, elle se trouve naturellement mélangée d'un tiers ou d'un quart de sables ou de graviers calcaires, un quinzième ou un dix-huitième d'aubue suffira pour la faire couler et la préserver de l'action subite du feu, qui ne manqueroit pas de la brûler en partie. On pèche presque partout par l'excès de castine qu'on met dans les fourneaux: il y a même des maîtres de cet art assez peu instruits

pour mettre de la castine et de l'aubue tout ensemble ou séparément, suivant qu'ils imaginent que leur mine est trop froide ou trop chaude; tandis que, dans le réel, toutes les mines de fer, du moins toutes les mines en grains, sont également fusibles, et ne diffèrent les unes des autres que par les matières dont elles sont mélangées, et pas du tout par leurs qualités intrinsèques, qui sont absolument les mêmes, et qui m'ont démontré que le fer, comme tout autre métal, est un dans la nature.

On reconnoîtra par les laitiers si la proportion de la castine ou de l'aubue que l'on jette au fourneau pèche par excès ou par défaut : lorsque les laitiers sont trop légers, spongieux, et blancs, presque semblables à la pierre ponce, c'est une preuve certaine qu'il y a trop de matière calcaire; en diminuant la quantité de cette matière on verra le laitier prendre plus de solidité, et former un verre ordinairement de couleur verdâtre, qui file, s'étend, et coule lentement au sortir du fourneau. Si au contraire le laitier est trop visqueux, s'il ne coule que très difficilement, s'il faut l'arracher du sommet de la dame, on peut être sûr qu'il n'y a pas assez de castine, ou peut-être pas assez de charbon proportionnellement à la mine; la consistance et même la couleur du laitier sont les indices les plus sûrs du bon ou du mauvais état du fourneau, et de la bonne ou mauvaise proportion des matières qu'on y jette : il faut que le laitier coule seul et forme un ruisseau lent sur la pente qui s'étend du sommet de la dame au terrain; il faut que sa couleur ne soit pas d'un rouge trop vif ou trop foncé, mais d'un rouge pâle et blanchâtre; et lorsqu'il est refroidi, on doit

trouver un verre solide, transparent, et verdâtre, aussi pesant et même plus que le verre ordinaire. Rien ne prouve mieux le mauvais travail du fourneau, ou la disproportion des mélanges, que les laitiers trop légers, trop pesants, trop obscurs; et ceux dans lesquels on remarque plusieurs petits trous ronds, gros comme les grains de mine, ne sont pas des laitiers proprement dits, mais de la mine brûlée qui n'est pas fondue.

Il y a encore plusieurs attentions nécessaires et quelques précautions à prendre, pour fondre les mines de fer avec la plus grande économie. Je suis parvenu, après un grand nombre d'essais réitérés, à ne consommer que 1 livre 7 onces $^1/_2$ ou tout au plus 1 livre 8 onces de charbon pour 1 livre de fonte; car, avec 2880 livres de charbon, lorsque mon fourneau est pleinement animé, j'obtiens constamment des gueuses de 1875, 1900, et 1950 livres, et je crois que c'est le plus haut point d'économie auquel on puisse arriver : car M. Robert, qui, de tous les maîtres de cet art, est peut-être celui qui, par le moyen de son lavoir, a le plus épuré ses mines, consommoit néanmoins 1 livre 10 onces de charbon pour chaque livre de fonte, et je doute que la qualité de ses fontes fût aussi parfaite que celle des miennes; mais cela dépend, comme je viens de le dire, d'un grand nombre d'observations et de précautions dont je vais indiquer les principales.

1° La cheminée du fourneau, depuis la cuve jusqu'au gueulard, doit être circulaire, et non pas à huit pans, comme étoit le fourneau de M. Robert, ou carrée comme le sont les cheminées de la plupart des

fourneaux en France. Il est bien aisé de sentir que dans un carré la chaleur se perd dans les angles sans réagir sur la mine, et que par conséquent on brûle plus de charbon pour en fondre la même quantité.

2° L'ouverture du gueulard ne doit être que la moitié du diamètre de la largeur de la cuve du fourneau. J'ai fait des fondages avec de très grands et de très petits gueulards; par exemple, de 3 pieds $^1/_2$ de diamètre, la cuve n'ayant que 5 pieds de diamètre, ce qui est à peu près la proportion des fourneaux de Suède; et j'ai vu que chaque livre de fonte consommoit près de 2 livres de charbon. Ensuite ayant rétréci la cheminée du fourneau, et laissant toujours à la cuve un diamètre de 5 pieds, j'ai réduit le gueulard à 2 pieds de diamètre; et, dans ce fondage, j'ai consommé 1 livre 13 onces de charbon pour chaque livre de fonte. La proportion qui m'a le mieux réussi, et à laquelle je me suis tenu, est celle de 2 pieds $^1/_2$ de diamètre au gueulard, sur 5 pieds à la cuve, la cheminée formant un cône droit, portant sur des gueuses circulaires depuis la cuve au gueulard, le tout construit avec des briques capables de résister au plus grand feu. Je donnerai ailleurs la composition de ces briques, et les détails de la construction du fourneau, qui est toute différente de ce qui s'est pratiqué jusqu'ici, surtout pour la partie qu'on appelle *l'ouvrage dans le fourneau*.

3° La manière de charger le fourneau ne laisse pas d'influer beaucoup plus qu'on ne croit sur le produit de la fusion. Au lieu de charger, comme c'est l'usage, toujours du côté de la rustine, et de laisser couler la mine en pente, de manière que ce côté de rustine est constamment plus chargé que les autres, il faut la

placer au milieu du gueulard, l'élever en cône obtus, et ne jamais interrompre le cours de la flamme, qui doit toujours envelopper le tas de mine tout autour, et donner constamment le même degré de feu. Par exemple, je fais charger communément six paniers de charbon de 40 livres chacun, sur huit mesures de mine de 55 livres chacune, et je fais couler à douze charges; j'obtiens communément 1925 livres de fonte de la meilleure qualité. On commence, comme partout ailleurs, à mettre le charbon; j'observe seulement de ne me servir au fourneau que de charbon de bois de chêne, et je laisse pour les affineries le charbon des bois plus doux. On jette d'abord cinq paniers de ce gros charbon de bois de chêne, et le dernier panier, qu'on impose sur les cinq autres, doit être d'un charbon plus menu, que l'on entasse et brise avec un râble, pour qu'il remplisse exactement les vides que laissent entre eux les gros charbons. Cette précaution est nécessaire pour que la mine, dont les grains sont très menus, ne perce pas trop vite, et n'arrive pas trop tôt au bas du fourneau. C'est aussi par la même raison qu'avant d'imposer la mine sur ce dernier charbon, qui doit être non pas à fleur du gueulard, mais à deux pouces au dessous, il faut, suivant la nature de la mine, répandre une portion de la castine ou de l'aubue, nécessaire à la fusion, sur la surface du charbon: cette couche de matière soutient la mine et l'empêche de percer. Ensuite on impose au milieu de l'ouverture une mesure de mine qui doit être mouillée, non pas assez pour tenir à la main, mais assez pour que les grains aient entre eux quelque adhérence et fassent quelques petites pelotes. Sur cette première mesure

de mine on en met une seconde, et on relève le tout en cône, de manière que la flamme l'enveloppe en entier; et s'il y a quelques points dans cette circonférence où la flamme ne perce pas, on enfonce un petit ringard pour lui donner jour, afin d'en entretenir l'égalité tout autour de la mine. Quelques minutes après, lorsque le cône de mine est affaissé de moitié ou des deux tiers, on impose de la même façon une troisième et une quatrième mesure qu'on relève de même, et ainsi de suite jusqu'à la huitième mesure. On emploie quinze ou vingt minutes à charger successivement la mine; cette manière est meilleure et bien plus profitable que la façon ordinaire qui est en usage, par laquelle on se presse de jeter, et toujours du même côté, la mine tout ensemble en moins de 3 ou 4 minutes.

4° La conduite du vent contribue beaucoup à l'augmentation du produit de la mine et de l'épargne du charbon. Il faut, dans le commencement du fondage, donner le moindre vent qu'il est possible, c'est-à-dire à peu près six coups de soufflet par minute, et augmenter peu à peu le mouvement pendant les quinze premiers jours, au bout desquels on peut aller jusqu'à onze et même jusqu'à douze coups de soufflet par minute; mais il faut encore que la grandeur des soufflets soit proportionnée à la capacité du fourneau, et que l'orifice de la tuyère soit placé d'un tiers plus près de la rustine que de la tympe, afin que le vent ne se porte pas trop du côté de l'ouverture qui donne passage au laitier. Les buses des soufflets doivent être posées à 6 ou 7 pouces en dedans de la tuyère, et le milieu du creuset doit se trouver à l'aplomb du centre du gueulard; de cette manière le vent circule à peu près égale-

ment dans toute la cavité du fourneau, et la mine descend, pour ainsi dire, à plomb, et ne s'attache que très rarement et en petite quantité aux parois du fourneau : dès lors il s'en brûle très peu, et l'on évite les embarras qui se forment souvent par cette mine attachée, et les bouillonnements qui arrivent dans le creuset lorsqu'elle vient à se détacher et y tomber en masse. Mais je renvoie les détails de la construction et de la conduite des fourneaux à un autre mémoire, parce que ce sujet exige une très longue discussion. Je pense que j'en ai dit assez pour que les maîtres de forges puissent m'entendre, et changer ou perfectionner leurs méthodes d'après la mienne. J'ajouterai seulement que par les moyens que je viens d'indiquer, et en ne pressant pas le feu, en ne cherchant point à accélérer les coulées, en n'augmentant de mine qu'avec précaution, en se tenant toujours au dessous de la quantité qu'on pourroit charger, on sera sûr d'avoir de très bonne fonte grise, dont on tirera d'excellent fer, et qui sera toujours de même qualité, de quelque mine qu'il provienne. Je puis l'assurer de toutes les mines en grains, puisque j'ai sur cela l'expérience la plus constante et les faits les plus réitérés. Mes fers, depuis cinq ans, n'ont jamais varié pour la qualité, et néanmoins j'ai employé sept espèces de mines différentes : mais je n'ai garde d'assurer de même que les mines de fer en roche donneroient, comme celles en grains, du fer de même qualité; car celles qui contiennent du cuivre ne peuvent guère produire que du fer aigre et cassant, de quelque manière qu'on voulût les traiter, parce qu'il est comme impossible de les purger de ce métal, dont le moindre mélange gâte

beaucoup la qualité du fer. Celles qui contiennent des pyrites et beaucoup de soufre demanderoient à être traitées dans de petits fourneaux presque ouverts, ou à la manière des forges des Pyrénées : mais comme toutes les mines en grains, du moins toutes celles que j'ai eu occasion d'examiner (et j'en ai vu beaucoup, m'en étant procuré d'un grand nombre d'endroits), ne contiennent ni cuivre ni soufre, on sera certain d'avoir du très bon fer, et de la même qualité, en suivant les procédés que je viens d'indiquer ; et comme ces mines en grains sont, pour ainsi dire, les seules que l'on exploite en France, et qu'à l'exception des provinces du Dauphiné, de Bretagne, du Roussillon, du pays de Foix, etc., où l'on se sert des mines en roche, presque toutes nos autres provinces n'ont que des mines en grains, les procédés que je viens de donner pour le traitement de ces mines en grains seront plus généralement utiles au royaume que les manières particulières de traiter les mines en roche, dont d'ailleurs on peut s'instruire dans Swedenborg, et dans quelques autres auteurs.

Ces procédés, que tous les gens qui connoissent les forges peuvent entendre aisément, se réduisent à séparer d'abord, autant qu'il sera possible, toutes les matières étrangères qui se trouvent mêlées avec la mine ; si l'on pouvoit en avoir le grain pur et sans aucun mélange, tous les fers, dans tous pays, seroient exactement de la même qualité ; je me suis assuré, par un grand nombre d'essais, que toutes les mines en grains, ou plutôt que tous les grains des différentes mines, sont à très peu près de la même substance. Le fer est un dans la nature, comme l'or et tous les autres mé-

taux, et, dans les mines en grains, les différences qu'on y trouve ne viennent pas de la matière qui compose le grain, mais de celles qui se trouvent mêlées avec les grains, et que l'on n'en sépare pas avant de les faire fondre. La seule différence que j'ai observée entre les grains des différentes mines que j'ai fait trier un à un pour faire mes essais, c'est que les plus petits sont ceux qui ont la plus grande pesanteur spécifique, et par conséquent ceux qui, sous le même volume, contiennent le plus de fer : il y a communément une petite cavité au centre de chaque grain; plus ils sont gros, plus ce vide est grand; ils n'augmentent pas comme le volume seulement, mais en bien plus grande proportion; en sorte que les plus gros grains sont à peu près comme les géodes ou pierres d'aigle, qui sont elles-mêmes de gros grains de mine de fer, dont la cavité intérieure est très grande. Ainsi les mines en grains très menus sont ordinairement les plus riches; j'en ai tiré jusqu'à 49 et 50 par 100 de fer en gueuse, et je suis persuadé que si je les avois épurées en entier, j'aurois obtenu plus de 60 par 100; car il y restoit environ un cinquième de sable vitrescible aussi gros et à peu près aussi pesant que le grain, et que je n'avois pu séparer; ce cinquième déduit sur 100, reste 80, dont ayant tiré 50, on auroit par conséquent obtenu $62 \frac{1}{2}$. On demandera peut-être comment je pouvois m'assurer qu'il ne restoit qu'un cinquième de matières hétérogènes dans la mine, et comment il faut faire en général pour reconnoître cette quantité : cela n'est point du tout difficile; il suffit de peser exactement une demi-livre de la mine, la livrer ensuite à une petite personne attentive, once par once, et lui en

faire trier tous les grains un à un; ils sont toujours très reconnoissables par leur luisant métallique; et lorsqu'on les a tous triés, on pèse les grains d'un côté et les sablons de l'autre, pour reconnoître la proportion de leurs quantités.

Les métallurgistes qui ont parlé des mines de fer en roche disent qu'il y en a quelques unes de si riches, qu'elles donnent 70 et même 75 et davantage de fer en gueuse par 100 : cela semble prouver que ces mines en roche sont en effet plus abondantes en fer que les mines en grains. Cependant j'ai quelque peine à le croire; et ayant consulté les Mémoires de feu M. Jars, qui a fait en Suède des observations exactes sur les mines, j'ai vu que, selon lui, les plus riches ne donnent que 50 pour 100 de fonte en gueuse. J'ai fait venir des échantillons de plusieurs mines de Suède, de celles des Pyrénées, et de celles d'Allevard en Dauphiné, que M. le comte de Baral a bien voulu me procurer, en m'envoyant la note ci-jointe[1]; et les ayant

1. « La terre d'Allevard est composée du bourg d'Allevard et de cinq paroisses, dans lesquelles il peut y avoir près de 6000 personnes toutes occupées, soit à l'exploitation des mines, soit à convertir les bois en charbon, et aux travaux des fourneaux, forges, et martinets. La hauteur des montagnes est pleine de rameaux de mines de fer; et elles y sont si abondantes, qu'elles fournissent des mines à toute la province de Dauphiné. Les qualités en sont si fines et si pures, qu'elles ont toujours été absolument nécessaires pour la fabrique royale de canons de Saint-Gervais, d'où l'on vient les chercher à grands frais; ces mines sont toutes répandues dans le cœur des roches, où elles forment des rameaux, et dans lesquelles elles se renouvellent par une végétation continuelle.

» Le fourneau est situé dans le centre des bois et des mines : c'est l'eau qui souffle le feu, et les courants d'eau sont immenses. Il n'y a par conséquent aucun soufflet; mais l'eau tombe dans des arbres

comparées à la balance hydrostatique avec nos mines en grains, elles se sont, à la vérité, trouvées plus pesantes : mais cette épreuve n'est pas concluante, à cause de la cavité qui se trouve dans chaque grain de nos mines, dont on ne peut pas estimer au juste, ni même à peu près, le rapport avec le volume total du grain. Et l'épreuve chimique que M. Sage a faite, à ma prière, d'un morceau de mine de fer cubique, semblable à celui de Sibérie, que mes tireurs de mine ont trouvé dans le territoire de Montbard, semble confirmer mon opinion, M. Sage n'en ayant tiré que 50 pour 100[1]; cette mine est toute différente de nos mines en grains, le fer y étant contenu en masses de figure cubique, au lieu que tous nos grains sont toujours plus ou moins arrondis, et que, quand ils forment

creusés dans de grands tonneaux, y attire une quantité d'air immense, qui va par un conduit souffler le fourneau; l'eau, plus pesante, s'enfuit par d'autres conduits. »

1. Cette mine est brune, fait feu avec le briquet, et est minéralisée par l'acide marin : on remarque dans sa fracture de petits points brillants de pyrites martiales; dans les fentes, on trouve des cubes de fer de deux lignes de diamètre, dont les surfaces sont striées; les stries sont opposées suivant les faces. Ce caractère se remarque dans les mines de fer de Sibérie : cette mine est absolument semblable à celles de ce pays par la couleur, la configuration des cristaux et les minéralisations; elle en diffère en ce qu'elle ne contient point d'or.

Par la distillation au fourneau de réverbère j'ai retiré de 600 grains de cette mine vingt gouttes d'eau insipide et très claire : j'avois enduit d'huile de tartre par défaillance le récipient, que j'avois adapté à la cornue; la distillation finie, je l'ai trouvé obscurci par des cristaux cubiques de sel fébrifuge de Sylvius.

Le résidu de la distillation étoit d'un rouge pourpre et avoit diminué de 10 livres par quintal.

J'ai retiré de cette mine 52 livres de fer par quintal; il étoit très ductile.

une masse, ils ne sont, pour ainsi dire, qu'agglutinés par un ciment terreux facile à diviser; au lieu que dans cette mine cubique, ainsi que dans toutes les autres vraies mines en roche, le fer est intimement uni avec les autres matières qui composent leur masse. J'aurois bien désiré faire l'épreuve en grand de cette mine cubique; mais on n'en a trouvé que quelques petits morceaux dispersés çà et là dans les fouilles des autres mines, et il m'a été impossible d'en rassembler assez pour en faire l'essai dans mes fourneaux.

Les essais en grand des différentes mines de fer sont plus difficiles, et demandent plus d'attention qu'on ne l'imagineroit. Lorsqu'on veut fondre une nouvelle mine, et en comparer au juste le produit avec celui des mines dont on usoit précédemment, il faut prendre le temps où le fourneau est en plein exercice, et s'il consomme dix mesures de mine par charge, ne lui en donner que sept ou huit de la nouvelle mine : il m'est arrivé d'avoir fort embarrassé mon fourneau, faute d'avoir pris cette précaution, parce qu'une mine dont on n'a point encore usé peut exiger plus de charbon qu'une autre, ou plus ou moins de vent, plus ou moins de castine; et, pour ne rien risquer, il faut commencer par une moindre quantité, et charger ainsi jusqu'à la première coulée. Le produit de cette première coulée est une fonte mélangée environ par moitié de la mine ancienne et de la nouvelle; et ce n'est qu'à la seconde, et quelquefois même à la troisième coulée, que l'on a sans mélange la fonte produite par la nouvelle mine. Si la fusion s'en fait avec succès, c'est-à-dire sans embarrasser le fourneau, et si les charges descendent promptement, on augmen-

tera la quantité de mine par demi-mesure, non pas de charge en charge, mais seulement de coulée en coulée, jusqu'à ce qu'on parvienne au point d'en mettre la plus grande quantité qu'on puisse employer sans gâter sa fonte. C'est ici le point essentiel, et auquel tous les gens de cet art manquent par raison d'intérêt : comme ils ne cherchent qu'à faire la plus grande quantité de fonte sans trop se soucier de la qualité, qu'ils paient même leur fondeur au millier, et qu'ils en sont d'autant plus contents que cet ouvrier coule plus de fonte toutes les vingt-quatre heures, ils ont coutume de faire charger leur fourneau d'autant de mine qu'il peut en supporter sans s'obstruer; et par ce moyen, au lieu de 400 milliers de bonne fonte qu'ils feroient en quatre mois, ils en font, dans ce même espace de temps, 5 ou 600 milliers. Cette fonte, toujours très cassante et très blanche, ne peut produire que du fer très médiocre ou mauvais; mais comme le débit en est plus assuré que celui du bon fer qu'on ne peut pas donner au même prix, et qu'il y a beaucoup plus à gagner, cette mauvaise pratique s'est introduite dans presque toutes les forges, et rien n'est plus rare que les fourneaux où l'on fait de bonnes fontes. On verra dans le mémoire suivant, où je rapporte les expériences que j'ai faites au sujet des canons de la marine, combien les bonnes fontes sont rares, puisque celle même dont on se sert pour les canons n'est pas, à beaucoup près, d'une aussi bonne qualité qu'on pourroit et qu'on devroit la faire.

Il en coûte à peu près un quart de plus pour faire de la bonne fonte, que pour en faire de la mauvaise : ce quart, que, dans la plupart de nos provinces, on

peut évaluer à 10 francs par millier, produit une différence de 15 francs sur chaque millier de fer; et ce bénéfice, qu'on ne fait qu'en trompant le public, c'est-à-dire en lui donnant de la mauvaise marchandise au lieu de lui en fournir de la bonne, se trouve encore augmenté de près du double par la facilité avec laquelle ces mauvaises fontes coulent à l'affinerie; elles demandent beaucoup moins de charbon, et encore moins de travail pour être converties en fer, de sorte qu'entre la fabrication du bon fer et du mauvais fer, il se trouve nécessairement, et tout au moins, une différence de 25 francs; et néanmoins dans le commerce, tel qu'il est aujourd'hui et depuis plusieurs années, on ne peut espérer de vendre le bon fer que 10 francs tout au plus au dessus du mauvais; il n'y a donc que les gens qui veulent bien, pour l'honneur de leur manufacture, perdre 15 francs par millier de fer, c'est-à-dire environ 2000 écus par an, qui fassent de bon fer. Perdre, c'est-à-dire gagner moins; car, avec de l'intelligence et en se donnant beaucoup de peine, on peut encore trouver quelque bénéfice en faisant du bon fer; mais ce bénéfice est si médiocre, en comparaison du gain qu'on fait sur le fer commun, qu'on doit être étonné qu'il y ait encore quelques manufactures qui donnent du bon fer. En attendant qu'on réforme cet abus, suivons toujours notre objet; si l'on n'écoute pas ma voix aujourd'hui, quelque jour on y obéira en consultant mes écrits, et l'on sera fâché d'avoir attendu si long-temps à faire un bien qu'on pourroit faire dès demain, en proscrivant l'entrée des fers étrangers dans le royaume, ou en diminuant les droits de la marque des fers.

Si l'on veut donc avoir, je ne dis pas de la fonte parfaite et telle qu'il la faudroit pour les canons de marine, mais seulement de la fonte assez bonne pour faire du fer liant, moitié nerf et moitié grain, du fer, en un mot, aussi bon et meilleur que les fers étrangers, on y parviendra très aisément par les procédés que je viens d'indiquer. On a vu dans le quatrième mémoire, où j'ai traité de la ténacité du fer, combien il y a de différence pour la force et pour la durée entre le bon et le mauvais fer; mais je me borne, dans celui-ci, à ce qui a rapport à la fusion des mines et à leur produit en fonte. Pour m'assurer de leur qualité, et reconnoître en même temps si elle ne varie pas, mes garde-fourneaux ne manquent jamais de faire un petit enfoncement horizontal d'environ trois pouces de profondeur à l'extrémité antérieure du moule de la gueuse; on casse le petit morceau lorsqu'on la sort du moule, et on l'enveloppe d'un morceau de papier portant le même numéro que celui de la gueuse. J'ai de chacun de mes fondages deux ou trois cents de ces morceaux numérotés, par lesquels je connois non seulement le grain et la couleur de mes fontes, mais aussi la différence de leur pesanteur spécifique; et par là je suis en état de prononcer d'avance sur la qualité du fer que chaque gueuse produira; car, quoique la mine soit la même et qu'on suive les mêmes procédés au fourneau, le changement de la température de l'air, le haussement ou le baissement des eaux, le jeu des soufflets plus ou moins soutenu, les retardements causés par les glaces ou par quelque accident aux roues, aux harnois ou à la tuyère et au creuset du fourneau, rendent la fonte assez différente d'elle-

même pour qu'on soit forcé d'en faire un choix, si l'on veut avoir du fer toujours de même qualité. En général, il faut, pour qu'il soit de cette bonne qualité, que la couleur de la fonte soit d'un gris un peu brun, que le grain en soit presque aussi fin que celui de l'acier commun, que le poids spécifique soit d'environ 504 ou 505 livres par pied cube, et qu'en même temps elle soit d'une si grande résistance qu'on ne puisse casser les gueuses avec la masse.

Tout le monde sait que quand on commence un fondage, on ne met d'abord qu'une petite quantité de mine, un sixième, un cinquième, et tout au plus un quart de la quantité qu'on mettra dans la suite, et qu'on augmente peu à peu cette première quantité pendant les premiers jours, parce qu'il en faut au moins quinze pour que le fond du fourneau soit échauffé. On donne aussi assez peu de vent dans ces commencements, pour ne pas détruire le creuset et les étalages du fourneau en leur faisant subir une chaleur trop vive et trop subite. Il ne faut pas compter sur la qualité des fontes que l'on tire pendant ces premiers quinze ou vingt jours; comme le fourneau n'est pas encore réglé, le produit en varie suivant les différentes circonstances : mais lorsque le fourneau a acquis le degré de chaleur suffisant, il faut bien examiner la fonte, et s'en tenir à la quantité de mine qui donne la meilleure; une mesure sur dix suffit souvent pour en changer la qualité. Ainsi l'on doit toujours se tenir au dessous de ce que l'on pourroit fondre avec la même quantité de charbon, qui ne doit jamais varier si l'on conduit bien son fourneau. Mais je réserve les détails de cette conduite du fourneau, et tout ce qui

regarde sa forme et sa construction, pour l'article où je traiterai du fer en particulier, dans l'histoire des minéraux, et je me bornerai ici aux choses les plus générales et les plus essentielles de la fusion des mines.

Le fer étant, comme je l'ai dit, toujours de même nature dans toutes les mines en grains, on sera donc sûr, en les nettoyant et en les traitant comme je viens de le dire, d'avoir toujours de la fonte d'une bonne et même qualité; on le reconnoîtra non seulement à la couleur, à la finesse du grain, à la pesanteur spécifique, mais encore à la ténacité de la matière: la mauvaise fonte est très cassante; et, si l'on veut en faire des plaques minces et des côtés de cheminée, le seul coup de l'air les fait fendre au moment que ces pièces commencent à se refroidir, au lieu que la bonne fonte ne casse jamais, quelque mince qu'elle soit. On peut même reconnoître au son la bonne ou la mauvaise qualité de la fonte: celle qui sonne le mieux est toujours la plus mauvaise; et, lorsqu'on veut en faire des cloches, il faut, pour qu'elles résistent à la percussion du battant, leur donner plus d'épaisseur qu'aux cloches de bronze, et choisir de préférence une mauvaise fonte, car la bonne sonneroit mal.

Au reste, la fonte de fer n'est point encore un métal; ce n'est qu'une matière mêlée de fer et de verre, qui est bonne ou mauvaise, suivant la quantité dominante de l'un ou de l'autre. Dans toutes les fontes noires, brunes, et grises, dont le grain est fin et serré, il y a beaucoup plus de fer que de verre ou d'autre matière hétérogène. Dans toutes les fontes blanches, où l'on voit plutôt des lames et des écailles que des grains, le verre est peut-être plus abondant que le

fer ; c'est par cette raison qu'elles sont plus légères et très cassantes : le fer qui en provient conserve les mêmes qualités. On peut, à la vérité, corriger un peu cette mauvaise qualité de la fonte par la manière de la traiter à l'affinerie ; mais l'art du marteleur est, comme celui du fondeur, un pauvre petit métier, dont il n'y a que les maîtres de forges ignorants qui soient dupes. Jamais la mauvaise fonte ne peut produire d'aussi bon fer que la bonne ; jamais le marteleur ne peut réparer pleinement ce que le fondeur a gâté.

Cette manière de fondre la mine de fer et de la faire couler en gueuses, c'est-à-dire en gros lingots de fonte, quoique la plus générale, n'est peut-être pas la meilleure ni la moins dispendieuse : on a vu par le résultat des expériences que j'ai citées dans ce mémoire, qu'on peut faire d'excellent fer, et même de très bon acier, sans les faire passer par l'état de la fonte. Dans nos provinces voisines des Pyrénées, en Espagne, en Italie, en Styrie, et dans quelques autres endroits, on tire immédiatement le fer de la mine sans le faire couler en fonte. On fond ou plutôt on ramollit la mine sans fondant, c'est-à-dire sans castine, dans de petits fourneaux dont je parlerai dans la suite, et on en tire des loupes ou des masses de fer déjà pur, qui n'a point passé par l'état de la fonte, qui s'est formé par une demi-fusion, par une espèce de coagulation de toutes les parties ferrugineuses de la mine. Ce fer fait par coagulation est certainement le meilleur de tous : on pourroit l'appeler *fer à 24 karats* : car, au sortir du fourneau, il est déjà presque aussi pur que celui de la fonte qu'on a purifiée par deux chaudes au feu de l'affinerie. Je crois donc cette

pratique excellente; je suis même persuadé que c'est la seule manière de tirer immédiatement de l'acier de toutes les mines, comme je l'ai fait dans mes fourneaux de 14 pieds de hauteur. Mais n'ayant fait exécuter que l'été dernier 1772 les petits fourneaux des Pyrénées, d'après un Mémoire envoyé à l'Académie des Sciences, j'y ai trouvé des difficultés qui m'ont arrêté, et me forcent à renvoyer à un autre mémoire tout ce qui a rapport à cette manière de fondre les mines de fer.

DIXIÈME MÉMOIRE.

Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine.

Les canons de la marine sont de fonte de fer, en France comme en Angleterre, en Hollande et partout ailleurs. Deux motifs ont pu donner également naissance à cet usage. Le premier est celui de l'économie: un canon de fer coulé coûte beaucoup moins qu'un canon de fer battu, et encore beaucoup moins qu'un canon de bronze; et cela seul a peut-être suffi pour les faire préférer, d'autant que le second motif vient à l'appui du premier. On prétend, et je suis très porté à le croire, que les canons de bronze, dont quelques uns de nos vaisseaux de parade sont armés, rendent dans l'instant de l'explosion un son si violent, qu'il

en résulte dans l'oreille de tous les habitants du vaisseau un tintement assourdissant qui leur feroit perdre en peu de temps le sens de l'ouïe. On assure, d'autre côté, que les canons de fer battu, sur lesquels on pourroit, par l'épargne de la matière, regagner une partie des frais de la fabrication, ne doivent point être employés sur les vaisseaux, par cette raison même de leur légèreté qui paroîtroit devoir les faire préférer; l'explosion les fait sauter dans les sabords, où l'on ne peut, dit-on, les retenir invinciblement, ni même assez pour les diriger à coup sûr. Si cet inconvénient n'est pas réel, ou si l'on pouvoit y parer, nul doute que les canons de fer forgé ne dussent être préférés à ceux de fer coulé : ils auroient moitié plus de légèreté et plus du double de résistance. Le maréchal de Vauban en avoit fait fabriquer de très beaux dont il restoit encore, ces années dernières, quelques tronçons à la manufacture de Charleville [1]. Le travail n'en

1. Une personne très versée dans la connoissance de l'art des forges m'a donné la note suivante :

« Il me paroît que l'on peut faire des canons de fer battu, qui seroient beaucoup plus sûrs et plus légers que les canons de fer coulé, et voici les proportions sur lesquelles il faudroit en tenter les expériences.

» Les canons, de fer battu, de 4 livres de balle auront 7 pouces $^1/_2$ d'épaisseur à leur plus grand diamètre ;

Ceux de 8, 10 pouces ;

Ceux de 12, 1 pied ;

Ceux de 24 livres, 14 pouces ;

Ceux de 36 livres, 16 pouces $^1/_2$.

» Ces proportions sont plutôt trop fortes que trop foibles : peut-être pourra-t-on les réduire à 6 pouces $^1/_2$ pour les canons de 4 ; ceux de 8 livres, à 8 pouces $^1/_2$; ceux de 12 livres, à 9 pouces $^1/_2$; ceux de 24, à 12 pouces : et ceux de 36, à 14 pouces.

» Les longueurs pour les canons de 4 seront de 5 pieds $^1/_2$; ceux de

seroit pas plus difficile que celui des ancres; et une manufacture aussi bien montée pour cet objet que

8, de 7 pieds de longueur; ceux de 12 livres, 7 pieds 9 pouces de longueur; ceux de 24, 8 pieds 9 pouces; ceux de 36, 9 pieds 2 pouces de longueur.

» L'on pourroit même diminuer ces proportions de longueur assez considérablement sans que le service en souffrît, c'est-à-dire faire les canons de 4 de 5 pieds de longueur seulement; ceux de 8 livres, de 6 pieds 8 pouces de longueur; ceux de 12 livres, à 7 pieds de longueur; ceux de 24, à 7 pieds 10 pouces; et ceux de 36, à 8 pieds, et peut-être même encore au dessous.

» Or il ne paroît pas bien difficile, 1° de faire des canons de 4 livres qui n'auroient que 5 pieds de longueur sur 6 pouces $^1/_2$ d'épaisseur dans leur plus grand diamètre; il suffiroit pour cela de souder ensemble quatre barres de 3 pouces forts en carré, et d'en former un cylindre massif de 6 pouces $^1/_2$ de diamètre sur 5 pieds de longueur; et comme cela ne seroit pas praticable dans les chaufferies ordinaires, ou du moins que cela deviendroit très difficile, il faudroit établir des fourneaux de réverbère, où l'on pourroit chauffer ces barres dans toute leur longueur pour les souder ensuite ensemble, sans être obligé de les remettre plusieurs fois au feu. Ce cylindre une fois formé, il sera facile de le forer et tourner; car le fer battu obéit bien plus aisément au foret que le fer coulé.

» Pour les canons de 8 livres qui ont 6 pieds 8 pouces de longueur sur 8 pouces $^1/_2$ d'épaisseur, il faudroit souder ensemble neuf barres de 3 pouces foibles en carré chacune, en les faisant toutes chauffer ensemble au même fourneau de réverbère, pour en faire un cylindre plein de 8 pouces $^1/_2$ de diamètre.

» Pour les canons de 12 livres de balle qui doivent avoir 10 pouces $^1/_2$ d'épaisseur, on pourra les faire avec neuf barres de 3 pouces $^1/_2$ carrées, que l'on soudera toutes ensemble par les mêmes moyens.

» Et pour les canons de 24, avec seize barres de 3 pouces en carré.

» Comme l'exécution de cette espèce d'ouvrage devient beaucoup plus difficile pour les gros canons que pour les petits, il sera juste et nécessaire de les payer à proportion plus cher.

» Le prix du fer battu est ordinairement de deux tiers plus haut que celui du fer coulé. Si l'on paie 20 livres le quintal des canons de fer coulé, il faudra donc payer ceux-ci 60 livres le quintal; mais comme ils seront beaucoup plus minces que ceux de fer coulé, je crois qu'il

l'est celle de M. de La Chaussade pour les ancres[1] pourroit être d'une très grande utilité.

Quoi qu'il en soit, comme ce n'est pas l'état actuel des choses, nos observations ne porteront que sur les canons de fer coulé. On s'est beaucoup plaint dans ces derniers temps de leur peu de résistance : malgré la rigueur des épreuves, quelques uns ont crevé sur nos vaisseaux ; accident terrible, et qui n'arrive jamais sans grand dommage et perte de plusieurs hommes. Le ministère, voulant remédier à ce mal, ou plutôt le prévenir pour la suite, informé que je faisois à mes forges des expériences sur la qualité de la fonte, me demanda mes conseils en 1768, et m'invita à travailler sur ce sujet important. Je m'y livrai avec zèle, et, de concert avec M. le vicomte de Morogues, homme très éclairé, je donnai, dans ce temps et dans les deux années suivantes, quelques observations au ministre, avec les expériences faites et celles qui res-

seroit possible de les faire fabriquer à 40 livres le quintal, et peut-être au dessous.

» Mais quand même ils coûteroient 40 livres, il y auroit encore beaucoup à gagner : 1° pour la sûreté du service, car ces canons ne creveroient pas ; ou s'ils venoient à crever, ils n'éclateroient jamais, et ne feroient que se fendre, ce qui ne causeroit aucun malheur.

» 2° Ils résisteroient beaucoup plus à la rouille, et dureroient pendant des siècles, ce qui est un avantage très considérable.

» 3° Comme on les foreroit aisément, la direction de l'âme en seroit parfaite.

» 4° Comme la matière en est homogène partout, il n'y auroit jamais ni cavités ni chambres.

» 5° Enfin, comme ils seroient beaucoup plus légers, ils chargeroient beaucoup moins, tant sur mer que sur terre, et seroient plus aisés à manœuvrer. »

1. A Guérigny, près de Nevers.

toient à faire pour perfectionner les canons. J'en ignore aujourd'hui le résultat et le succès; le ministre de la marine ayant changé, je n'ai plus entendu parler ni d'expériences ni de canons. Mais cela ne doit pas m'empêcher de donner, sans qu'on me le demande, les choses utiles que j'ai pu trouver en m'occupant pendant deux à trois ans de ce travail; et c'est ce qui fera le sujet de ce mémoire, qui tient de si près à celui où j'ai traité de la fusion des mines de fer, qu'on peut l'en regarder comme une suite.

Les canons se fondent en situation perpendiculaire, dans des moules de plusieurs pieds de profondeur, la culasse au fond et la bouche en haut : comme il faut plusieurs milliers de matière en fusion pour faire un gros canon plein et chargé de la masse qui doit le comprimer à sa partie supérieure, on étoit dans le préjugé qu'il falloit deux et même trois fourneaux pour fondre du gros canon. Comme les plus fortes gueuses que l'on coule dans les plus grands fourneaux ne sont que de 2500 ou tout au plus 3000 livres, et que la matière en fusion ne séjourne jamais que douze ou quinze heures dans le creuset du fourneau, on imaginoit que le double ou le triple de cette quantité de matière en fusion, qu'on seroit obligé de laisser pendant trente-six ou quarante heures dans le creuset avant de la couler, non seulement pouvoit détruire le creuset, mais même le fourneau, par son bouillonnement et son explosion; au moyen de quoi on avoit pris le parti qui paroissoit le plus prudent, et on couloit les gros canons, en tirant en même temps ou successivement la fonte de deux ou trois fourneaux, placés de manière que les trois ruisseaux

de fonte pouvoient arriver en même temps dans le moule.

Il ne faut pas beaucoup de réflexion pour sentir que cette pratique est mauvaise ; il est impossible que la fonte de chacun de ces fourneaux soit au même degré de chaleur, de pureté, de fluidité ; par conséquent le canon se trouve composé de deux ou trois matières différentes, en sorte que plusieurs de ses parties, et souvent un côté tout entier, se trouvent nécessairement d'une matière moins bonne et plus foible que le reste ; ce qui est le plus grand de tous les inconvénients en fait de résistance, puisque l'effort de la poudre agissant également de tous côtés ne manque jamais de se faire jour par le plus foible. Je voulus donc essayer et voir en effet s'il y avoit quelque danger à tenir pendant plus de temps qu'on ne le fait ordinairement une plus grande quantité de matière en fusion : j'attendis pour cela que le creuset de mon fourneau, qui avoit 18 pouces de largeur sur 4 pieds de longueur et 18 pouces de hauteur, fût encore élargi par l'action du feu, comme cela arrive toujours vers la fin du fondage ; j'y laissai amasser de la fonte pendant trente-six heures ; il n'y eut ni explosion ni autre bouillonnement que ceux qui arrivent quelquefois quand il tombe des matières crues dans le creuset : je fis couler après les trente-six heures, et l'on eut trois gueuses pesant ensemble 4600 livres d'une très bonne fonte.

Par une seconde expérience, j'ai gardé la fonte pendant quarante-huit heures sans aucun inconvénient ; ce long séjour ne fait que la purifier davantage, et par conséquent en diminuer le volume en

augmentant la masse : comme la fonte contient une grande quantité de parties hétérogènes, dont les unes se brûlent et les autres se convertissent en verre, l'un des plus grands moyens de la dépurer est de la laisser séjourner au fourneau.

M'étant donc bien assuré que le préjugé de la nécessité de deux ou trois fourneaux étoit très mal fondé, je proposai de réduire à un seul les fourneaux de Ruelle en Angoumois[1], où l'on fond nos gros canons : ce conseil fut suivi et exécuté par ordre du ministre ; on fondit sans inconvénient et avec tout succès, à un

1. Voici l'extrait de cette proposition faite au ministre.

Comme les canons de gros calibre, tels que ceux de trente-six et de vingt-quatre, supposent un grand volume de fer en fusion, on se sert ordinairement de trois ou tout au moins de deux fourneaux pour les couler. La mine fondue dans chacun de ces fourneaux arrive dans le moule par autant de ruisseaux particuliers. Or cette pratique me paroit avoir les plus grands inconvénients ; car il est certain que chacun de ces fourneaux donne une fonte de différente espèce, en sorte que leur mélange ne peut se faire d'une manière intime, ni même en approcher. Pour le voir clairement, ne supposons que deux fourneaux, et que la fonte de l'un arrive à droite, et la fonte de l'autre arrive à gauche dans le moule du canon : il est certain que l'une de ces deux fontes étant ou plus pesante, ou plus legère, ou plus chaude, ou plus froide, ou, etc., que l'autre, elles ne se mêleront pas, et que par conséquent l'un des côtés du canon sera plus dur que l'autre ; que dès lors il résistera moins d'un côté que de l'autre, et qu'ayant le défaut d'être composé de deux matières différentes, le ressort de ces parties, ainsi que leur cohérence, ne sera pas égal, et que par conséquent ils résisteront moins que ceux qui seroient faits d'une matière homogène. Il n'est pas moins certain que si l'on veut forer ces canons, le foret, trouvant plus de résistance d'un côté que de l'autre, se détournera de la perpendiculaire du côté le plus tendre, et que la direction de l'intérieur du canon prendra de l'obliquité, etc. Il me paroit donc qu'il faudroit tâcher de fondre les canons de fer coulé avec un seul fourneau, et je crois la chose très possible.

seul fourneau, des canons de vingt-quatre; et je ne sais si l'on n'a pas fondu depuis des canons de trente-six, car j'ai tout lieu de présumer qu'on réussiroit également. Ce premier point une fois obtenu, je cherchai s'il n'y avoit pas encore d'autres causes qui pouvoient contribuer à la fragilité de nos canons; j'en trouvai en effet qui y contribuent plus encore que l'inégalité de l'étoffe dont on les composoit en les coulant à deux ou trois fourneaux.

La première de ces causes est le mauvais usage qui s'est établi depuis plus de vingt ans, de faire tourner la surface extérieure des canons; ce qui les rend plus agréables à la vue. Il en est cependant du canon comme du soldat, il vaut mieux qu'il soit robuste qu'élégant; et ces canons tournés, polis, et guillochés, ne devoient point en imposer aux yeux des braves officiers de notre marine; car il me semble qu'on peut démontrer qu'ils sont non seulement beaucoup plus foibles, mais aussi d'une bien moindre durée. Pour peu qu'on soit versé dans la connoissance de la fusion des mines de fer, on aura remarqué en coulant des enclumes, des boulets, et à plus forte raison des canons, que la force centrifuge de la chaleur pousse à la circonférence la partie la plus massive et la plus pure de la fonte; il ne reste au centre que ce qu'il y a de plus mauvais, et souvent même il s'y forme une cavité : sur un nombre de boulets que l'on fera casser, on en trouvera plus de moitié qui auront une cavité dans le centre, et dans tous les autres une matière plus poreuse que le reste du boulet. On remarquera de plus qu'il y a plusieurs rayons qui tendent du centre à la circonférence, et que la matière est plus com-

pacte et de meilleure qualité à mesure qu'elle est plus éloignée du centre. On observera encore que l'écorce du boulet, de l'enclume, ou du canon, est beaucoup plus dure que l'intérieur; cette dureté plus grande provient de la trempe que l'humidité du moule donne à l'extérieur de la pièce, et elle pénètre jusqu'à trois lignes d'épaisseur dans les petites pièces, et à une ligne et demie dans les grosses. C'est en quoi consiste la plus grande force du canon : car cette couche extérieure réunit les extrémités de tous les rayons divergents dont je viens de parler, qui sont les lignes par où se fera la rupture; elle sert de cuirasse au canon, et elle en est la partie la plus pure, et, par sa grande dureté, elle contient toutes les parties intérieures qui sont plus molles, et céderoient sans cela plus aisément à la force de l'explosion. Or que fait-on lorsque l'on tourne les canons? on commence par enlever au ciseau, poussé par le marteau, toute cette surface extérieure que les couteaux du tour ne pourroient entamer; on pénètre dans l'extérieur de la pièce jusqu'au point où elle se trouve assez douce pour se laisser tourner, et on lui enlève en même temps, par cette opération, peut-être un quart de sa force.

Cette couche extérieure, que l'on a si grand tort d'enlever, est en même temps la cuirasse et la sauvegarde du canon; non seulement elle lui donne toute la force de résistance qu'il doit avoir, mais elle le défend encore de la rouille qui ronge en peu de temps ces canons tournés : on a beau les lustrer avec de l'huile, les peindre, ou les polir; comme la matière de la surface extérieure est aussi tendre que tout le reste, la rouille y mord avec mille fois plus d'avantage

que sur ceux dont la surface est garantie par la trempe. Lorsque je fus donc convaincu, par mes propres observations, du préjudice que portoit à nos canons cette mauvaise pratique, je donnai au ministre mon avis motivé pour qu'elle fût proscrite; mais je ne crois pas qu'on ait suivi cet avis, parce qu'il s'est trouvé plusieurs personnes très éclairées d'ailleurs, et nommément M. de Morogues, qui ont pensé différemment. Leur opinion, si contraire à la mienne, est fondée sur ce que la trempe rend le fer plus cassant, et dès lors ils regardent la couche extérieure comme la plus foible et la moins résistante de toutes les parties de la pièce, et concluent qu'on ne lui fait pas grand tort de l'enlever; ils ajoutent que, si l'on veut même remédier à ce tort, il n'y a qu'à donner aux canons quelques lignes d'épaisseur de plus.

J'avoue que je n'ai pu me rendre à ces raisons. Il faut distinguer dans la trempe, comme dans toute autre chose, plusieurs états et même plusieurs nuances. Le fer et l'acier chauffés à blanc et trempés subitement dans une eau très froide deviennent très cassants; trempés dans une eau moins froide, ils sont beaucoup moins cassants; et dans de l'eau chaude, la trempe ne leur donne aucune fragilité sensible. J'ai sur cela des expériences qui me paroissent décisives. Pendant l'été dernier 1772, j'ai fait tremper dans l'eau de la rivière, qui étoit assez chaude pour s'y baigner, toutes les barres de fer qu'on forgeoit à un des feux de ma forge; et comparant ce fer avec celui qui n'étoit pas trempé, la différence du grain n'en étoit pas sensible, non plus que celle de leur résistance à la masse lorsqu'on les cassoit. Mais ce même fer travaillé

de la même façon par les mêmes ouvriers, et trempé cet hiver dans l'eau de la même rivière qui étoit presque glacée partout, est non seulement devenu fragile, mais a perdu en même temps tout son nerf, en sorte qu'on auroit cru que ce n'étoit plus le même fer. Or la trempe qui se fait à la surface du canon n'est assurément pas une trempe à froid; elle n'est produite que par la petite humidité qui sort du moule déjà bien séché : il ne faut donc pas en raisonner comme d'une autre trempe à froid, ni en conclure qu'elle rend cette couche extérieure beaucoup plus cassante qu'elle ne le seroit sans cela. Je supprime plusieurs autres raisons que je pourrois alléguer, parce que la chose me paroît assez claire.

Un autre objet, et sur lequel il n'est pas aussi aisé de prononcer affirmativement, c'est la pratique où l'on est actuellement de couler les canons plein, pour les forer ensuite avec des machines difficiles à exécuter, et encore plus difficiles à conduire, au lieu de les couler creux comme on le faisoit autrefois; et dans ce temps nos canons crevoient moins qu'aujourd'ui. J'ai balancé les raisons pour et contre, et je vais les présenter ici. Pour couler un canon creux, il faut établir un noyau dans le moule, et le placer avec la plus grande précision, afin que le canon se trouve partout de l'épaisseur requise, et qu'un côté ne soit pas plus fort que l'autre : comme la matière en fusion tombe entre le noyau et le moule, elle a beaucoup moins de force centrifuge, et dès lors la qualité de la matière est moins inégale dans le canon coulé creux que dans le canon coulé plein; mais aussi cette matière, par la raison même qu'elle est moins inégale, est au total

moins bonne dans le canon creux, parce que les impuretés qu'elle contient s'y trouvent mêlées partout, au lieu que, dans le canon coulé plein, cette mauvaise matière reste au centre et se sépare ensuite du canon par l'opération des forets. Je penserois donc, par cette première raison, que les canons forés doivent être préférés aux canons à noyau. Si l'on pouvoit cependant couler ceux-ci avec assez de précision pour n'être pas obligé de toucher à la surface intérieure; si, lorsqu'on tire le noyau, cette surface se trouvoit assez unie, assez égale dans toutes ses directions pour n'avoir pas besoin d'être calibrée, et par conséquent en partie détruite par l'instrument d'acier, ils auroient un grand avantage sur les autres, parce que, dans ce cas, la surface intérieure se trouveroit trempée comme la surface extérieure, et dès lors la résistance de la pièce se trouveroit bien plus grande. Mais notre art ne va pas jusque là; on étoit obligé de ratisser à l'intérieur toutes les pièces coulées creux, afin de les calibrer : en les forant on ne fait que la même chose, et on a l'avantage d'ôter toute la mauvaise matière qui se trouve autour du centre de la pièce coulée plein; matière qui reste, au contraire, dispersée dans toute la masse de la pièce coulée creux.

D'ailleurs les canons coulés plein sont beaucoup moins sujets aux soufflures, aux chambres, aux gerçures ou fausses soudures, etc. Pour bien couler les canons à noyau et les rendre parfaits, il faudroit des évents, au lieu que les canons pleins n'en ont aucun besoin. Comme ils ne touchent à la terre ou au sable dont leur moule est composé que par la surface extérieure; qu'il est rare, si ce moule est bien préparé,

bien séché, qu'il s'en détache quelque chose; que, pourvu qu'on ne fasse pas tomber la fonte trop précipitamment et qu'elle soit bien liquide, elle ne retient ni les bulles de l'air, ni celles des vapeurs qui s'exhalent à mesure que le moule se remplit dans toute sa capacité, il ne doit pas se trouver autant de ces défauts, à beaucoup près, dans cette matière coulée plein que dans celle où le noyau, rendant à l'intérieur son air et son humidité, ne peut guère manquer d'occasioner des soufflures et des chambres qui se formeront d'autant plus aisément que l'épaisseur de la matière est moindre, sa qualité moins bonne, et son refroidissement plus subit. Jusqu'ici tout semble donc concourir à donner la préférence à la pratique de couler les canons plein. Néanmoins, comme il faut une moindre quantité de matière pour les canons creux, qu'il est dès lors plus aisé de l'épurer au fourneau avant de la couler, que les frais des machines à forer sont immenses en comparaison de ceux des noyaux, on feroit bien d'essayer si, par le moyen des évents que je viens de proposer, on n'arriveroit pas au point de rendre les pièces coulées à noyau assez parfaites pour n'avoir pas à craindre les soufflures, et n'être pas obligé de leur enlever la trempe de leur surface intérieure : ils seroient alors d'une plus grande résistance que les autres, auxquels on peut d'ailleurs faire quelques reproches par les raisons que je vais exposer.

Plus la fonte du fer est épurée, plus elle est compacte, dure, et difficile à forer; les meilleurs outils d'acier ne l'entament qu'avec peine, et l'ouvrage de la forerie va d'autant moins vite que la fonte est meil-

leure. Ceux qui ont introduit cette pratique ont donc, pour la commodité de leurs machines, altéré la nature de la matière[1]; ils ont changé l'usage où l'on étoit de faire de la fonte dure, et n'ont fait couler que des fontes tendres, qu'ils ont appelées *douces*,

1. Sur la fin de l'année 1762, M. Maritz fit couler aux fourneaux de La Nouée en Bretagne des gueuses avec les mines de La Ferrière et de Noyal; il en examina la fonte, en dressa un procès-verbal, et sur les assurances qu'il donna aux entrepreneurs, que leur fer avoit toutes les qualités requises pour faire de bons canons, ils se déterminèrent à établir des mouleries, fonderies, décapiteries, centreries, foreries, et les tours nécessaires pour tourner extérieurement les pièces. Les entrepreneurs, après avoir formé leur établissement, ont mis les deux fourneaux en feu le 29 janvier 1765, et le 12 février suivant on commença à couler du canon de huit. M. Maritz, s'étant rendu à la forge le 21 mars, trouva que toutes ces pièces étoient *trop dures pour souffrir le forage*, et jugea à propos de changer la matière. On coula deux pièces de douze avec un nouveau mélange, et une autre pièce de douze avec un autre mélange, qui parurent *si durs sous la scie et au premier foret*, que M. Maritz jugea inutile de fondre avec ces mélanges de différentes mines, et fit un autre essai avec 11,550 livres de la mine de Noyal, 3390 livres de la mine de La Ferrière, et 3600 de la mine des environs, faisant en tout 18,540 livres, dont on coula, le 31 mars, une pièce de douze à trente charges basses. A la décapiterie, ainsi qu'en formant le support de la volée, M. Maritz jugea ce fer de bonne nature : mais *le forage de cette pièce fut difficile*; ce qui porta M. Maritz à faire une autre expérience.

Le 1er et le 3 avril, il fit couler deux pièces de douze pour chacune desquelles on porta trente-quatre charges composées chacune de 18,700 livres de mine de Noyal et de 2720 livres de mine des environs, en tout 21,420 livres. Ceci démontra à M. Maritz l'impossibilité qu'il y avoit de fondre avec de la mine de Noyal seule; car même avec ce mélange, l'intérieur du fourneau s'embarrassa au point que le laitier ne couloit plus, et que les ouvriers avoient une peine incroyable à l'aracher du fond de l'ouvrage : d'ailleurs les deux pièces provenues de cette expérience *se trouvèrent si dures au forage*, et si profondément chambrées à 18 et 20 pouces de la volée, que quand même la mine de Noyal pourroit se fondre sans être alliée avec une espèce plus chaude,

pour qu'on en sentît moins la différence. Dès lors tous nos canons coulés plein ont été fondus de cette matière douce, c'est-à-dire d'une assez mauvaise fonte, et qui n'a pas, à beaucoup près, la pureté, la densité, la résistance qu'elle devroit avoir : j'en ai acquis la preuve la plus complète par les expériences que je vais rapporter.

Au commencement de l'année 1767, on m'envoya de la forge de La Nouée en Bretagne six tronçons de gros canons coulés plein, pesant ensemble 5558 livres. L'été suivant, je les fis conduire à mes forges, et, en ayant cassé les tourillons, j'en trouvai la fonte d'un assez mauvais grain; ce que l'on ne pouvoit pas re-

la fonte qui en proviendroit ne seroit cependant pas d'une nature *propre à couler des canons forables.*

Le 4 avril 1765, pour septième et dernière expérience, M. Maritz fit couler une neuvième pièce de douze en trente-six charges basses, et composées de 11,880 livres de mine de Noyal, de 7200 livres de mine de Phlemet, et de 2880 livres de mine des environs, en tout 21,960 livres de mine.

Après la coulée de cette dernière pièce, les ouvrages des fourneaux se trouvèrent si embarrassés, qu'on fut obligé de mettre hors, et M. Maritz congédia les fondeurs et mouleurs qu'il avoit fait venir des forges d'Angoumois.

Cette dernière pièce *se fora facilement,* en donnant une limaille de belle couleur; mais, lors du forage, il se trouva des endroits *si tendres et si peu condensés,* qu'il parut plusieurs grelots de la grosseur d'une noisette, qui ouvrirent plusieurs chambres dans l'âme de la pièce.

Je n'ai rapporté les faits contenus dans cette note que pour prouver que les auteurs de la pratique du forage des canons n'ont cherché qu'à faire couler des fontes tendres, et qu'ils ont par conséquent sacrifié la matière à la forme, en rejetant toutes les bonnes fontes que leurs forets ne pouvoient entamer aisément, tandis qu'il faut au contraire chercher la matière la plus compacte et la plus dure si l'on veut avoir des canons d'une bonne résistance.

connoître sur les tranches de ces morceaux, parce qu'ils avoient été sciés avec de l'émeril ou quelque autre matière qui remplissoit les pores extérieurs. Ayant pesé cette fonte à la balance hydrostatique, je trouvai qu'elle étoit trop légère, qu'elle ne pesoit que 461 livres le pied cube, tandis que celle que l'on couloit alors à mon fourneau en pesoit 504, et que quand je la veux encore épurer elle pèse jusqu'à 520 livres le pied cube. Cette seule épreuve pouvoit me suffire pour juger de la qualité plus que médiocre de cette fonte; mais je ne m'en tins pas là. En 1770, sur la fin de l'été, je fis construire une chaufferie plus grande que mes chaufferies ordinaires, pour y faire fondre et convertir en fer ces tronçons de canons, et l'on en vint à bout à force de vent et de charbon. Je les fis couler en petites gueuses, et, après qu'elles furent refroidies, j'en examinai la couleur et le grain en les faisant casser à la masse. J'en trouvai, comme je m'y attendois, la couleur plus grise et le grain plus fin. La matière ne pouvoit manquer de s'épurer par cette seconde fusion : et en effet l'ayant portée à la balance hydrostatique, elle se trouva peser 469 livres le pied cube; ce qui cependant n'approche pas encore de la densité requise pour une bonne fonte.

Et en effet, ayant fait convertir en fer successivement, et par mes meilleurs ouvriers, toutes les petites gueuses refondues et provenant de ces tronçons de canons, nous n'obtînmes que du fer d'une qualité très commune, sans aucun nerf, et d'un grain assez gros, aussi différent de celui de mes forges que le fer commun l'est du bon fer.

En 1770, on m'envoya de la forge de Ruelle en Angoumois, où l'on fond actuellement la plus grande partie de nos canons, des échantillons de la fonte dont on les coule. Cette fonte a la couleur grise, le grain assez fin, et pèse 495 livres le pied cube[1]. Réduite en fer battu et forgé avec soin, j'en ai trouvé le grain semblable à celui du fer commun, et ne prenant que peu ou point de nerf, quoique travaillé en petites verges et passé sous le cylindre; en sorte que cette fonte, quoique meilleure que celle qui m'est venue des forges de La Nouée, n'est pas encore de la bonne fonte. J'ignore si, depuis ce temps, l'on ne coule pas aux fourneaux de Ruelle des fontes meilleures et plus pesantes; je sais seulement que deux officiers de marine[2], très habiles et zélés, y ont été envoyés successive-

1. Ces morceaux de fonte envoyés du fourneau de Ruelle étoient de forme cubique de trois pouces, foibles dans toutes leurs dimensions. Le premier, marqué *S*, pesoit dans l'air 7 livres 2 onces 4 gros $^1/_2$, c'est-à-dire 916 gros $^1/_2$. Le même morceau pesoit dans l'eau 6 livres 2 onces 2 gros $^1/_2$; donc le volume d'eau égal au volume de ce morceau de fonte pesoit 130 gros. L'eau dans laquelle il a été pesé pesoit elle-même 70 livres le pied cube. Or 130 gros : 70 livres :: 916 gros $^1/_2$: 493 $^3/_{13}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. Le second morceau, marqué *P*, pesoit dans l'air 7 livres 4 onces 1 gros, c'est-à-dire 929 gros. Le même morceau pesoit dans l'eau 6 livres 3 onces 6 gros, c'est-à-dire 798 gros; donc le volume d'eau égal au volume de ce morceau de fonte pesoit 131 gros. Or 131 gros : 70 livres :: 929 gros : 496 $^{54}/_{131}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. On observera que ces morceaux qu'on avoit voulu couler sur les dimensions d'un cube de 3 pouces étoient trop foibles : ils auroient dû contenir chacun 27 pouces cubiques; et par conséquent le pied cube du premier n'auroit pesé que 458 livres 4 onces; car 27 pouces : 1728 pouces :: 916 gros $^1/_2$: 458 livres 4 onces, et le pied cube du second n'auroit pesé que 464 livres $^1/_4$, au lieu de 493 livres $^3/_{13}$, et de 496 livres $^{54}/_{131}$.

2. MM. de Souville et de Vialis.

ment, et qu'ils sont tous deux fort en état de perfectionner l'art et de bien conduire les travaux de cette fonderie. Mais jusqu'à l'époque que je viens de citer, et qui est bien récente, je suis assuré que les fontes de nos canons coulés plein n'étoient que de médiocre qualité, qu'une pareille fonte n'a pas assez de résistance, et qu'en lui ôtant encore le lien qui la contient, c'est-à-dire en enlevant, par les couteaux du tour, la surface trempée, il y a tout à craindre du service de ces canons.

On ne manquera pas de dire que ce sont ici des frayeurs paniques et mal fondées, qu'on ne se sert jamais que des canons qui ont subi l'épreuve, et qu'une pièce une fois éprouvée par une moitié de plus de charge ne doit ni ne peut crever à la charge ordinaire. A ceci je réponds que non seulement cela n'est pas certain, mais encore que le contraire est beaucoup plus probable. En général, l'épreuve des canons par la poudre est peut-être la plus mauvaise méthode que l'on pût employer pour s'assurer de leur résistance. Le canon ne peut subir le trop violent effort des épreuves qu'en y cédant, autant que la cohérence de la matière le permet, sans se rompre ; et, comme il s'en faut bien que cette matière de la fonte soit à ressort parfait, les parties séparées par le trop grand effort ne peuvent se rapprocher ni se rétablir comme elles étoient d'abord. Cette cohésion des parties intégrantes de la fonte étant donc fort diminuée par le grand effort des épreuves, il n'est pas étonnant que le canon crève ensuite à la charge ordinaire ; c'est un effet très simple qui dérive d'une cause tout aussi simple. Si le premier coup d'épreuve écarte les parties

d'une moitié ou d'un tiers de plus que le coup ordinaire, elles se rétabliront, se réuniront moins dans la même proportion; car, quoique leur cohérence n'ait pas été détruite, puisque la pièce a résisté, il n'en est pas moins vrai que cette cohérence n'est pas si grande qu'elle étoit auparavant, et qu'elle a diminué dans la même raison que diminue la force d'un ressort imparfait : dès lors un second ou un troisième coup d'épreuve fera éclater les pièces qui auront résisté au premier, et celles qui auront subi les trois épreuves sans se rompre ne sont guère plus sûres que les autres; après avoir subi trois fois le même mal, c'est-à-dire le trop grand écartement de leurs parties intégrantes, elles en sont nécessairement devenues bien plus foibles, et pourront par conséquent céder à l'effort de la charge ordinaire.

Un moyen bien plus sûr, bien simple, et mille fois moins coûteux, pour s'assurer de la résistance des canons, seroit d'en faire peser la fonte à la balance hydrostatique : en coulant le canon, l'on mettroit à part un morceau de la fonte; lorsqu'il seroit refroidi, on le pèseroit dans l'air et dans l'eau; et si la fonte ne pesoit pas au moins 520 livres le pied cube, on rebuteroit la pièce comme non recevable : l'on épargneroit la poudre, la peine des hommes, et on banniroit la crainte très bien fondée de voir crever les pièces souvent après l'épreuve. Étant une fois sûr de la densité de la matière, on seroit également assuré de sa résistance; et si nos canons étoient faits avec de la fonte pesant 520 livres le pied cube, et qu'on ne s'avisât pas de les tourner ni de toucher à leur surface extérieure, j'ose assurer qu'ils résisteroient et

dureroient autant qu'on doit se le promettre. J'avoue que, par ce moyen, peut-être trop simple pour être adopté, on ne peut pas savoir si la pièce est saine, s'il n'y a pas dans l'intérieur de la matière des défauts, des soufflures, des cavités; mais connoissant une fois la bonté de la fonte, il suffiroit, pour s'assurer du reste, de faire éprouver une seule fois, et à la charge ordinaire, les canons nouvellement fondus, et l'on seroit beaucoup plus sûr de leur résistance que de celle de ceux qui ont subi des épreuves violentes.

Plusieurs personnes ont donné des projets pour faire de meilleurs canons : les uns ont proposé de les doubler de cuivre, d'autres de fer battu, d'autres de souder ce fer battu avec la fonte. Tout cela peut être bon à certains égards; et dans un art dont l'objet est aussi important et la pratique aussi difficile, les efforts doivent être accueillis, et les moindres découvertes récompensées. Je ne ferai point ici d'observations sur les canons de M. Feutry, qui ne laissent pas de demander beaucoup d'art dans leur exécution; je ne parlerai pas non plus des autres tentatives, à l'exception de celle de M. de Souville, qui m'a paru la plus ingénieuse, et qu'il a bien voulu me communiquer par sa lettre datée d'Angoulême le 6 avril 1771, dont je donne ici l'extrait[1] : mais je dirai seulement que

1. « Les canons fabriqués avec des spirales ont opposé la plus grande résistance à la plus forte charge de poudre, et à la manière la plus dangereuse de les charger. Il ne manque à cette méthode, pour être bonne, que d'empêcher qu'il ne se forme des chambres dans ces bouches à feu; cet inconvénient, il est vrai, m'obligeroit à l'abandonner si je n'y parvenois; mais pourquoi ne pas le tenter? Beaucoup de personnes ont proposé de faire des canons avec des doublures ou des enveloppes de fer forgé; mais ces doublures et ces enveloppes ont

la soudure du cuivre avec le fer rend celui-ci beaucoup plus aigre; que quand on soude de la fonte avec elle-même par le moyen du soufre, on la change de nature, et que la ligne de jonction des deux parties soudées n'est plus de la fonte de fer, mais de la pyrite très cassante; et qu'en général le soufre est un intermède qu'on ne doit jamais employer lorsqu'on veut souder du fer sans en altérer la qualité : je ne donne ceci que pour avis à ceux qui pourroient prendre cette voie comme la plus sûre et la plus aisée pour rendre le fer fusible et en faire de grosses pièces.

Si l'on conserve l'usage de forer les canons, et qu'on les coule de bonne fonte dure, il faudra en revenir aux machines à forer de M. le marquis de Montalembert, celles de M. Maritz n'étant bonnes que

toujours été un assemblage de barres inflexibles, que leur forme, leur position, et leur roideur, rendent inutiles. La spirale n'a pas les mêmes défauts; elle se prête à toutes les formes que prend la matière: elle s'affaisse avec elle dans le moule : son fer ne perd ni sa ductilité ni son ressort; dans la commotion du *tir*, l'effort est distribué sur toute son étendue. Elle enveloppe presque toute l'épaisseur du canon, et dès lors s'oppose à sa rupture avec une résistance de près de 50,000 livres de force. Si la fonte éprouve une plus grande dilatation que le fer, elle résiste avec toute cette force; si cette dilatation est moindre, la spirale ne reçoit que le mouvement qui lui est communiqué. Ainsi, dans l'un et l'autre cas, l'effet est le même. L'assemblage des barres, au contraire, ne résiste que par les cercles qui les contiennent. Lorsqu'on en a revêtu l'âme des canons, on n'a pas augmenté la résistance de la fonte; sa tendance à se rompre a été la même; et lorsqu'on a enveloppé son épaisseur, les cercles n'ont pu soutenir également l'effort qui se partage sur tout le développement de la spirale. Les barres d'ailleurs s'opposent aux vibrations des cercles. La spirale que j'ai mise dans un canon de six, foré et éprouvé au calibre de douze, ne pesoit que 85 livres; elle avoit 2 pouces de largeur et 4 lignes d'épaisseur. La distance d'une hélice à l'autre étoit aussi de 2 pouces; elle étoit roulée à chaud sur un mandrin de fer. »

pour le bronze ou la fonte de fer tendre. M. de Montalembert est encore un des hommes de France qui entend le mieux cet art de la fonderie des canons, et j'ai toujours gémi que son zèle, éclairé de toutes les connoissances nécessaires en ce genre, n'ait abouti qu'au détriment de sa fortune. Comme je vis éloigné de lui, j'écris ce mémoire sans le lui communiquer : mais je serai plus flatté de son approbation que de celle de qui que ce soit; car je ne connois personne qui entende mieux ce dont il est ici question. Si l'on mettoit en masse, dans ce royaume, les trésors de lumière que l'on jette à l'écart, ou qu'on a l'air de dédaigner, nous serions bientôt la nation la plus florissante et le peuple le plus riche. Par exemple, il est le premier qui ait conseillé de reconnoître la résistance de la fonte par sa pesanteur spécifique; il a aussi cherché à perfectionner l'art de la moulerie en sable des canons de fonte de fer, et cet art est perdu depuis qu'on a imaginé de les tourner. Avec les moules en terre dont on se servoit auparavant, la surface des canons étoit toujours chargée d'aspérités et de rugosités; M. de Montalembert avoit trouvé le moyen de faire des moules en sable qui donnoient à la surface du canon tout le lisse et même le luisant qu'on pouvoit désirer. Ceux qui connoissent les arts en grand sentiront bien les difficultés qu'il a fallu surmonter pour en venir à bout, et les peines qu'il a fallu prendre pour former des ouvriers capables d'exécuter ces moules, auxquels ayant substitué le mauvais usage du tour, on a perdu un art excellent pour adopter une pratique funeste[1].

1. L'outil à langue de carpe perce la fonte de fer avec une vitesse

Une attention très nécessaire lorsque l'on coule du canon, c'est d'empêcher les écumes qui surmontent

presque double de celle de l'outil à cylindre. Il n'est point nécessaire, avec ce premier outil, de seringuer de l'eau dans la pièce, comme il est d'usage de le faire en employant le second, qui s'échauffe beaucoup par son frottement très considérable. L'outil à cylindre seroit détrempé en peu de temps sans cette précaution : elle est même souvent insuffisante; dès que la fonte se trouve plus compacte et plus dure, cet outil ne peut la forer. La limaille sort naturellement avec l'outil à langue de carpe, tandis qu'avec l'outil à cylindre il faut employer continuellement un crochet pour la tirer; ce qui ne peut se faire assez exactement pour qu'il n'en reste pas entre l'outil et la pièce, ce qui la gêne et augmente encore son frottement.

Il faudroit s'attacher à perfectionner la moulerie. Cette opération est difficile, mais elle n'est pas impossible à quelqu'un d'intelligent. Plusieurs choses sont absolument nécessaires pour y réussir : 1° des mouleries plus étendues, pour pouvoir y placer plus de chantiers et y faire plus de moules à la fois, afin qu'ils pussent sécher plus lentement; 2° une grande fosse pour les recuire debout, ainsi que cela se pratique pour les canons de cuivre, afin d'éviter que le moule ne soit arqué, et par conséquent le canon; 3° un petit chariot à quatre roues fort basses avec des montants assez élevés pour y suspendre le moule recuit, et le transporter de la moulerie à la cuve du fourneau, comme on transporte un lustre; 4° un juste mélange d'une terre grasse et d'une terre sableuse, tel qu'il le faut pour qu'au recuit le moule ne se fende pas de mille et mille fentes qui rendent le canon défectueux, et surtout pour que cette terre, avec cette qualité de ne pas se fendre, puisse conserver l'avantage de *s'écaler,* c'est-à-dire de se détacher du canon quand on vient à le nettoyer. Plus la terre est grasse, mieux elle *s'écale,* et plus elle se fend; plus elle est maigre ou sableuse, moins elle se fend, mais moins elle *s'écale.* Il y a des moules de cette terre qui se tiennent si fort attachés au canon, qu'on ne peut, avec le marteau et le ciseau, en emporter que la plus grosse partie; ces sortes de canons restent encore plus vilains que ceux cicatrisés par les fentes innombrables des moules de terre grasse. Ce mélange de terre est donc très difficile; il demande beaucoup d'attention, d'expérience : et, ce qu'il y a de fâcheux, c'est que les expériences dans ce genre, faites pour les petits calibres, ne concluent rien pour les gros. Il n'est jamais difficile de faire écaler de petits canons avec un mélange sableux;

la fonte de tomber avec elle dans le moule. Plus la fonte est légère, et plus elle fait d'écumes ; et l'on pourroit juger, à l'inspection même de la coulée, si la fonte est de bonne qualité : car alors sa surface est lisse et ne porte point d'écumes. Mais, dans tous ces cas, il faut avoir soin de comprimer la matière coulante par plusieurs torches de paille placées dans les coulées. Avec cette précaution il ne passe que peu d'écumes dans le moule ; et si la fonte étoit dense et compacte, il n'y en auroit point du tout. La bourre de la fonte ne vient ordinairement que de ce qu'elle est trop crue et trop précipitamment fondue. D'ailleurs la matière la plus pesante sort la première du fourneau ; la plus légère vient la dernière : la culasse du canon est, par cette raison, toujours d'une meilleure matière que les parties supérieures de la pièce ; mais il n'y aura jamais de bourre dans le canon si, d'une part, on arrête les écumes par les torches de paille, et qu'en même temps on lui donne une forte masselotte de matière excédante, dont il est même aussi nécessaire qu'utile qu'il reste encore, après la coulée, trois ou quatre quintaux en fusion dans le creuset : cette fonte qui reste y entretient la chaleur ; et, comme elle est encore mêlée d'une assez grande quantité de laitier, elle conserve le fond du fourneau, et empêche la mine fondante de brûler en s'y attachant.

Il me paroît qu'en France on a souvent fondu les canons avec des mines en roche, qui toutes contiennent une plus ou moins grande quantité de soufre ; et

mais ce même mélange ne peut plus être employé dès que les calibres passent celui de douze ; pour ceux de trente-six surtout, il est très difficile d'attraper le point du mélange.

comme l'on n'est pas dans l'usage de les griller dans nos provinces où le bois est cher, ainsi qu'il se pratique dans les pays du Nord où le bois est commun, je présume que la qualité cassante de la fonte de nos canons de la marine pourroit aussi provenir de ce soufre qu'on n'a pas soin d'enlever à la mine avant de la jeter au fourneau de fusion. Les fonderies de Ruelle en Angoumois, de Saint-Gervais en Dauphiné, et de Baigorry dans la Basse-Navarre, sont les seules dont j'aie connoissance, avec celle de La Nouée en Bretagne, dont j'ai parlé, et où je crois que le travail est cessé : dans toutes quatre, je crois qu'on ne s'est servi et qu'on ne se sert encore que de mines en roche, et je n'ai pas ouï dire qu'on les grillât ailleurs qu'à Saint-Gervais et à Baigorry. J'ai tâché de me procurer des échantillons de chacune de ces mines, et, au défaut d'une assez grande quantité de ces échantillons, tous les renseignements que j'ai pu obtenir par la voie de quelques amis intelligents. Voici ce que m'a écrit M. de Morogues au sujet des mines qu'on emploie à Ruelle :

« La première est dure, compacte, pesante, faisant feu avec l'acier, de couleur rouge brun, formée par deux couches d'inégale épaisseur, dont l'une est spongieuse, parsemée de trous ou cavités, d'un velouté violet foncé, et quelquefois d'un bleu indigo à sa cassure, ayant des mamelons, teignant en rouge de sanguine; caractères qui peuvent la faire ranger dans la septième classe de l'art des forges, comme une espèce de pierre hématite : mais elle est riche et douce.

» La seconde ressemble assez à la précédente pour la pesanteur, la dureté, et la couleur; mais elle est un

peu *salardée* (on appelle *salard* ou mine salardée celle qui a des grains de sable clair, et qui est mêlée de sable gris blanc, de caillou, et de fer). Elle et riche en métal; employée avec de la mine très douce, elle se fond très facilement : son tissu à sa cassure est strié et parsemé quelquefois de cavités d'un brun noir. Elle paroît de la sixième espèce de la mine rougeâtre dans l'art des forges.

» La troisième, qu'on nomme dans le pays *glacieuse*, parce qu'elle a ordinairement quelques unes de ses faces lisses et douces au toucher, n'est ni fort pesante ni fort riche; elle a communément quelques petits points noirs et luisants, d'un grain semblable au maroquin. Sa couleur est variée; elle a du rouge assez vif, du brun, du jaune, un peu de vert, et quelques cavités. Elle paroît, à cause de ses faces unies et luisantes, avoir quelque rapport à la mine spéculaire de la huitième espèce.

» La quatrième, qui fournit d'excellent fer, mais en petite quantité, est légère, spongieuse, assez tendre, d'une couleur brune presque noire, ayant quelques mamelons, et sablonneuse : elle paroît être une sorte de mine limoneuse de la onzième espèce.

» La cinquième est une mine salardée, faisant beaucoup de feu avec l'acier, dure, compacte, pesante, parsemée à la cassure de petits points brillants, qui ne sont que du sable de couleur de lie de vin. Cette mine est difficile à fondre : la qualité de son fer passe pour n'être pas mauvaise; mais elle en produit peu. Les ouvriers prétendent qu'il n'y a pas moyen de la fondre seule, et que l'abondance des crasses qui s'en séparent l'agglutine à l'ouvrage du fourneau. Cette

mine ne paroît pas avoir de ressemblance bien caractérisée avec celle dont Swedenborg a parlé.

» On emploie encore un grand nombre d'autres espèces de mines ; mais elles ne diffèrent des précédentes que par moins de qualité, à l'exception d'une espèce d'ocre martiale, qui peut fournir ici une sixième classe. Cette mine est assez abondante dans les minières : elle est aisée à tirer ; on l'enlève comme la terre. Elle est jaune, et quelquefois mêlée de petites grenailles ; elle fournit peu de fer : elle est très douce. On peut la ranger dans la douzième espèce de l'art des forges.

» La gangue de toutes les mines du pays est une terre vitrifiable, rarement argileuse. Toutes ces espèces de mines sont mêlées, et le terrain dont on les tire est presque tout sableux.

» On appelle *schiffre* en Angoumois un caillou assez semblable aux pierres à feu, et qui en donne beaucoup quand on le frappe avec l'acier. Il est d'un jaune clair, fort dur : il tient quelquefois à des matières qui peuvent avoir du fer ; mais ce n'est point le schiste.

» La castine est une vraie pierre calcaire assez pure, si l'on en peut juger par l'uniformité de sa cassure et de sa couleur, qui est gris blanc ; elle est pesante, assez dure, et prend un poli fort doux au toucher. »

Par ce récit de M. de Morogues, il me semble qu'il n'y a que la sixième espèce qui ne demande pas à être grillée, mais seulement bien lavée avant de la jeter au fourneau.

Au reste, quoique généralement parlant, et comme je l'ai dit, les mines en roche, et qui se trouvent en grandes masses solides, doivent leur origine à l'élé-

ment du feu, néanmoins il se trouve aussi plusieurs mines de fer en assez grosses masses, qui se sont formées par le mouvement et l'intermède de l'eau. On distinguera, par l'épreuve de l'aimant, celles qui ont subi l'action du feu, car elles seront toujours magnétiques; au lieu que celles qui ont été produites par la stillation des eaux ne le sont point du tout, et ne le deviendront qu'après avoir été bien grillées et presque liquéfiées. Ces mines en roche, qui ne sont point attirables par l'aimant, ne contiennent pas plus de soufre que nos mines en grains : l'opération de les griller, qui est très coûteuse, doit dès lors être supprimée, à moins qu'elle ne soit nécessaire pour attendrir ces pierres de fer assez pour qu'on puisse les concasser sous les pilons du bocard.

J'ai tâché de présenter dans ce mémoire tout ce que j'ai cru qui pourroit être utile à l'amélioration des canons de notre marine; je sens en même temps qu'il reste beaucoup de choses à faire, surtout pour se procurer dans chaque fonderie une fonte pure et assez compacte pour avoir une résistance supérieure à toute explosion. Cependant je ne crois point du tout que cela soit impossible, et je pense qu'en purifiant la fonte de fer autant qu'elle peut l'être, on arriveroit au point que la pièce ne feroit que se fendre au lieu d'éclater par une trop forte charge. Si l'on obtenoit une fois ce but, il ne nous resteroit plus rien à craindre ni rien à désirer à cet égard.

FIN DE LA PARTIE EXPÉRIMENTALE.

PARTIE HYPOTHÉTIQUE.

PREMIER MÉMOIRE.

Recherches sur le refroidissement de la terre et des planètes.

En supposant, comme tous les phénomènes paroissent l'indiquer, que la terre ait autrefois été dans un état de liquéfaction causé par le feu, il est démontré par nos expériences que si le globe étoit entièrement composé de fer ou de matière ferrugineuse[1], il ne se seroit consolidé jusqu'au centre qu'en 4026 ans, refroidi au point de pouvoir le toucher sans se brûler en 46991 ans, et qu'il ne se seroit refroidi au point de la température actuelle qu'en 100696 ans; mais comme la terre, dans tout ce qui nous est connu, nous paroît être composée de matières vitrescibles et calcaires qui se refroidissent en moins de temps que les matières ferrugineuses, il faut, pour approcher de la vérité autant qu'il est possible, prendre les temps respectifs du refroidissement de ces différentes matières tels que nous les avons trouvés par les expériences du second mémoire, et en établir le rapport avec celui

1. Premier et huitième mémoire.

du refroidissement du fer. En n'employant dans cette somme que le verre, le grès, la pierre calcaire dure, les marbres, et les pierres ferrugineuses, on trouvera que le globe terrestre s'est consolidé jusqu'au centre en 2905 ans environ, qu'il s'est refroidi au point de pouvoir le toucher en 33911 ans environ, et à la température actuelle en 74047 ans environ.

J'ai cru ne devoir pas faire entrer dans cette somme des rapports du refroidissement des matières qui composent le globe ceux de l'or, de l'argent, du plomb, de l'étain, du zinc, de l'antimoine, et du bismuth, parce que ces matières ne font, pour ainsi dire, qu'une partie infiniment petite du globe.

De même je n'ai point fait entrer les rapports du refroidissement des glaises, des ocres, des craies, et des gypses, parce que ces matières n'ayant que peu ou point de dureté, et n'étant que des détriments des premières, ne doivent pas être mises au rang de celles dont le globe est principalement composé, qui, prises généralement, sont concrètes, dures, et très solides, et que j'ai cru devoir réduire aux matières vitrescibles, calcaires, et ferrugineuses, dont le refroidissement mis en somme, d'après la table que j'en ai donnée[1], est à celui du fer :: 50516 : 70000 pour pouvoir les toucher, et :: 51475 : 70000 pour le point de la température actuelle. Ainsi, en partant de l'état de la liquéfaction, il a dû s'écouler 2905 ans avant que le globe de la terre fût consolidé jusqu'au centre; de même il s'est écoulé 33911 ans avant que sa surface fût assez refroidie pour pouvoir la toucher, et 74047 ans avant que sa chaleur propre ait diminué au point de la tem-

1. Second mémoire.

pérature actuelle ; et, comme la diminution du feu ou de la très grande chaleur se fait toujours à très peu près en raison de l'épaisseur des corps ou du diamètre des globes de même densité, il s'ensuit que la lune, dont le diamètre n'est que de $^3/_{11}$ de celui de la terre, auroit dû se consolider jusqu'au centre en 792 ans $^1/_{11}$ environ, se refroidir au point de pouvoir la toucher en 9248 ans $^5/_{11}$ environ, et perdre assez de sa chaleur propre pour arriver au point de la température actuelle en 20194 ans environ, en supposant que la lune est composée des mêmes matières que le globe terrestre : néanmoins, comme la densité de la terre est à celle de la lune :: 1000 : 702, et qu'à l'exception des métaux, toutes les autres matières vitrescibles ou calcaires suivent, dans leur refroidissement, le rapport de la densité assez exactement, nous diminuerons les temps du refroidissement de la lune dans ce même rapport de 1000 à 702; en sorte qu'au lieu de s'être consolidée jusqu'au centre en 792 ans, on doit dire 556 ans environ pour le temps réel de sa consolidation jusqu'au centre, et 6492 ans pour son refroidissement au point de pouvoir la toucher, et enfin 14176 ans pour son refroidissement à la température actuelle de la terre; en sorte qu'il y a 59871 ans entre le temps de son refroidissement et celui du refroidissement de la terre, abstraction faite de la compensation qu'a dû produire sur l'une et sur l'autre la chaleur du soleil, et la chaleur réciproque qu'elles se sont envoyée.

De même le globe de Mercure, dont le diamètre n'est que $^1/_3$ de celui de notre globe, auroit dû se consolider jusqu'au centre en 968 ans $^1/_3$, se refroi-

dir au point de pouvoir le toucher en 11301 ans environ, et arriver à celui de la température actuelle de la terre en 24682 ans environ, s'il étoit composé d'une matière semblable à celle de la terre : mais sa densité étant à celle de la terre :: 2040 : 1000, il faut prolonger dans la même raison les temps de son refroidissement. Ainsi Mercure s'est consolidé jusqu'au centre en 1965 ans $^3/_{10}$, refroidi au point de pouvoir le toucher en 23054 ans, et enfin à la température actuelle de la terre en 50351 ans; en sorte qu'il y a 23696 ans entre le temps de son refroidissement et celui du refroidissement de la terre, abstraction faite de même de la compensation qu'a dû faire à la perte de sa chaleur propre la chaleur du soleil, duquel il est plus voisin qu'aucune autre planète.

De même le diamètre du globe de Mars n'étant que $^{13}/_{25}$ de celui de la terre, il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 1510 ans $^3/_5$ environ, se refroidir au point de pouvoir le toucher en 17634 ans environ, et arriver à celui de la température actuelle de la terre en 38504 ans environ, s'il étoit composé d'une matière semblable à celle de la terre; mais sa densité étant à celle du globe terrestre :: 730 : 1000, il faut diminuer dans la même raison les temps de son refroidissement. Ainsi Mars sera consolidé jusqu'au centre en 1102 ans $^{18}/_{25}$ environ, refroidi au point de pouvoir le toucher en 12873 ans, et enfin à la température actuelle de la terre en 28108 ans; en sorte qu'il y a 45839 ans entre les temps de son refroidissement et celui de la terre, abstraction faite de la différence qu'a dû produire la chaleur du soleil sur ces deux planètes.

De même le diamètre du globe de Vénus étant $^{17}/_{18}$ du diamètre de notre globe, il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 2744 ans environ, se refroidir au point de pouvoir le toucher en 32027 ans environ, et arriver à celui de la température actuelle de la terre en 69933 ans, s'il étoit composé d'une matière semblable à celle de la terre; mais sa densité étant à celle du globe terrestre :: 1270 : 1000, il faut augmenter dans la même raison les temps de son refroidissement. Ainsi Vénus ne se sera consolidée jusqu'au centre qu'en 3484 ans $^{22}/_{25}$ environ, refroidie au point de pouvoir la toucher en 40674 ans, et enfin à la température actuelle de la terre en 88815 ans environ; en sorte que ce ne sera que dans 14768 ans que Vénus sera au même point de température qu'est actuellement la terre, toujours abstraction faite de la différente compensation qu'a dû faire la chaleur du soleil sur l'une et l'autre.

Le diamètre du globe de Saturne étant à celui de la terre :: 9 $^{1}/_{2}$: 1, il s'ensuit que, malgré son grand éloignement du soleil, il est encore bien plus chaud que la terre; car, abstraction faite de cette légère différence causée par la moindre chaleur qu'il reçoit du soleil, il se trouve qu'il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 27597 ans $^{1}/_{2}$, se refroidir au point de pouvoir le toucher en 322154 ans $^{1}/_{2}$, et arriver à celui de la température actuelle en 703446 ans $^{1}/_{2}$, s'il étoit composé d'une matière semblable à celle du globe terrestre; mais sa densité n'étant à celle de la terre que :: 184 : 1000, il faut diminuer dans la même raison les temps de son refroidissement. Ainsi

Saturne se sera consolidé jusqu'au centre en 5078 ans environ, refroidi au point de pouvoir le toucher en 59276 ans environ, et enfin à la température actuelle en 129434 ans ; en sorte que ce ne sera que dans 55387 ans que Saturne sera refroidi au même point de température qu'est actuellement la terre, abstraction faite non seulement de la chaleur du soleil, mais encore de celle qu'il a dû recevoir de ses satellites et de son anneau.

De même, le diamètre de Jupiter étant onze fois plus grand que celui de la terre, il s'ensuit qu'il est encore bien plus chaud que Saturne, parce que, d'une part, il est plus gros, et que, d'autre part, il est moins éloigné du soleil ; mais, en ne considérant que sa chaleur propre, on voit qu'il n'auroit dû se consolider jusqu'au centre qu'en 31955 ans, ne se refroidir au point de pouvoir le toucher qu'en 373021 ans, et n'arriver à celui de la température de la terre qu'en 814514 ans, s'il étoit composé d'une matière semblable à celle du globe terrestre ; mais sa densité n'étant à celle de la terre que :: 292 : 1000, il faut diminuer dans la même raison les temps de son refroidissement. Ainsi Jupiter se sera consolidé jusqu'au centre en 9331 ans $1/2$ environ, refroidi au point de pouvoir le toucher en 108922 ans, et enfin à la température actuelle en 237838 ans ; en sorte que ce ne sera que dans 163791 ans que Jupiter se sera refroidi au même point de température qu'est actuellement la terre, abstraction faite de la compensation, tant par la chaleur du soleil que par la chaleur de ses satellites.

Ces deux planètes, Jupiter et Saturne, quoique les plus éloignées du soleil, doivent donc être beaucoup

plus chaudes que la terre, qui néanmoins, à l'exception de Vénus, est de toutes les autres planètes celle qui est actuellement la moins froide. Mais les satellites de ces deux grosses planètes auront, comme la lune, perdu leur chaleur propre en beaucoup moins de temps, et dans la proportion de leur diamètre et de leur densité; il y a seulement une double compensation à faire sur cette perte de la chaleur intérieure des satellites, d'abord par celle du soleil, et ensuite par la chaleur de la planète principale, qui a dû, surtout dans le commencement et encore aujourd'hui, se porter sur ses satellites, et les réchauffer à l'extérieur beaucoup plus que celle du soleil.

Dans la supposition que toutes les planètes aient été formées de la matière du soleil, et projetées hors de cet astre dans le même temps, on peut prononcer sur l'époque de leur formation, par le temps qui s'est écoulé pour leur refroidissement. Ainsi la terre existe, comme les autres planètes, sous une forme solide et consistante à la surface, au moins depuis 74047 ans, puisque nous avons démontré qu'il faut ce même temps pour refroidir au point de la température actuelle un globe en incandescence, qui seroit de la même grosseur que le globe terrestre, et composé des mêmes matières. Et comme la déperdition de la chaleur, de quelque degré qu'elle soit, se fait en même raison que l'écoulement du temps, on ne peut guère douter que cette chaleur de la terre ne fût double, il y a 37023 ans $^1/_2$, de ce qu'elle est aujourd'hui, et qu'elle n'ait été triple, quadruple, centuple, etc., dans des temps plus reculés, à mesure qu'on se rapproche de la date

de l'état primitif de l'incandescence générale. Sur les 74047 ans, il s'est, comme nous l'avons dit, écoulé 2905 ans avant que la masse entière de notre globe fût consolidée jusqu'au centre. L'état d'incandescence, d'abord avec flamme, et ensuite avec lumière rouge à la surface, a duré tout ce temps, après lequel la chaleur, quoique obscure, ne laissoit pas d'être assez forte pour enflammer les matières combustibles, pour rejeter l'eau et la dissiper en vapeurs, pour sublimer les substances volatiles, etc. Cet état de grande chaleur sans incandescence a duré 33911 ans; car nous avons démontré, par les expériences du premier mémoire, qu'il faudroit 42964 ans à un globe de fer gros comme la terre, et chauffé jusqu'au rouge, pour se refroidir au point de pouvoir le toucher sans se brûler; et, par les expériences du second mémoire, on peut conclure que le rapport du refroidissement à ce point des principales matières qui composent le globe terrestre est à celui du refroidissement du fer :: 50516 : 70000. Or 70000 : 50516 :: 42964 : 33911, à très peu près. Ainsi le globe terrestre, très opaque aujourd'hui, a d'abord été très brillant de sa propre lumière pendant 2905 ans, et ensuite sa surface n'a cessé d'être assez chaude pour brûler qu'au bout de 33911 autres années. Déduisant donc ce temps sur 74047 ans qu'a duré le refroidissement de la terre au point de la température actuelle, il reste 40136 ans. C'est de quelques siècles après cette époque que l'on peut, dans cette hypothèse, dater la naissance de la nature organisée sur le globe de la terre; car il est évident qu'aucun être vivant ou organisé n'a pu exister, et encore

moins subsister, dans un monde où la chaleur étoit encore si grande qu'on ne pouvoit, sans se brûler, en toucher la surface, et que par conséquent ce n'a été qu'après la dissipation de cette chaleur trop forte que la terre a pu nourrir des animaux et des plantes.

La lune, qui n'a que $^3/_{11}$ du diamètre de notre globe, et que nous supposons composée d'une matière dont la densité n'est à celle de la terre que :: 702 : 1000, a dû parvenir à ce premier moment de chaleur bénigne et productive bien plus tôt que la terre, c'est-à-dire quelque temps après les 6492 ans qui se sont écoulés avant son refroidissement au point de pouvoir, sans se brûler, en toucher la surface.

Le globe terrestre se seroit donc refroidi du point d'incandescence au point de la température actuelle en 74047 ans, supposé que rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre : mais, d'une part, le soleil envoyant constamment à la terre une certaine quantité de chaleur, l'accession ou le gain de cette chaleur extérieure a dû compenser en partie la perte de sa chaleur intérieure; et, d'autre part, la lune, dont la surface, à cause de sa proximité, nous paroît aussi grande que celle du soleil, étant aussi chaude que cet astre dans le temps de l'incandescence générale, envoyoit en ce moment à la terre autant de chaleur que le soleil même; ce qui fait une seconde compensation qu'on doit ajouter à la première, sans compter la chaleur envoyée dans le même temps par les cinq autres planètes, qui semble devoir ajouter encore quelque chose à cette quantité de chaleur extérieure que reçoit et qu'a reçue la terre dans les temps précédents, abstraction faite de toute compensation par la chaleur

extérieure à la perte de la chaleur propre de chaque planète; elles se seroient donc refroidies dans l'ordre suivant :

A POUVOIR EN TOUCHER LA SURFACE SANS SE BRULER.			A LA TEMPÉRATURE actuelle DE LA TERRE.	
Le Globe terrestre. . . .	en	33911 ans.	En. . . .	74047 ans.
La Lune.	en	6432	En. . . .	14176
Mercure.	en	23054	En. . . .	50351
Vénus.	en	40674	En. . . .	88815
Mars.	en	12873	En. . . .	28108
Jupiter.	en	108922	En. . . .	237838
Saturne.	en	59276	En. . . .	129434

Mais on verra que ces rapports varieront par la compensation que la chaleur du soleil a faite à la perte de la chaleur propre de toutes les planètes.

Pour estimer la compensation que fait l'accession de cette chaleur extérieure envoyée par le soleil et les planètes, à la perte de la chaleur intérieure de chaque planète en particulier, il faut commencer par évaluer la compensation que la chaleur du soleil seul a faite à la perte de la chaleur propre du globe terrestre. On a fait une estimation assez précise de la chaleur qui émane actuellement de la terre et de celle qui lui vient du soleil; on a trouvé, par des observations très exactes, et suivies pendant plusieurs années, que cette chaleur, qui émane du globe terrestre, est en tout temps et en toutes saisons bien plus grande que celle qu'il reçoit du soleil. Dans nos climats, et particulièrement sous le parallèle de Paris, elle paroît être en été vingt-neuf fois et en hiver quatre cent quatre-

vingt-onze fois plus grande que la chaleur qui nous vient du soleil. Mais on tomberoit dans l'erreur si l'on vouloit tirer de l'un ou de l'autre de ces rapports, ou même des deux pris ensemble, le rapport réel de la chaleur propre du globe terrestre à celle qui lui vient du soleil, parce que ces rapports ne donnent que les points de la plus grande chaleur de l'été, et de la plus petite chaleur, ou, ce qui est la même chose, du plus grand froid en hiver, et qu'on ignore tous les rapports intermédiaires des autres saisons de l'année. Néanmoins ce ne seroit que de la somme de tous ces rapports, soigneusement observés chaque jour, et ensuite réunis, qu'on pourroit tirer la proportion réelle de la chaleur du globe terrestre à celle qui lui vient du soleil; mais nous pouvons arriver plus aisément à ce même but en prenant le climat de l'équateur, qui n'est pas sujet aux mêmes inconvénients, parce que les étés, les hivers et toutes les saisons y étant à peu près égales, le rapport de la chaleur solaire à la chaleur terrestre y est constant, et toujours de $^1/_{50}$, non seulement sous la ligne équatoriale, mais à 5 degrés des deux côtés de cette ligne. On peut donc croire, d'après ces observations, qu'en général la chaleur de la terre est encore aujourd'hui cinquante fois plus grande que la chaleur qui lui vient du soleil. Cette addition ou compensation de $^1/_{50}$ à la perte de la chaleur propre du globe n'est pas si considérable qu'on auroit été porté à l'imaginer : mais, à mesure que le globe se refroidira davantage, cette même chaleur du soleil fera une plus forte compensation, et deviendra de plus en plus nécessaire au maintien de la nature vivante, comme elle a été de moins en moins utile à

mesure qu'on remonte vers les premiers temps; car, en prenant 74047 ans pour date de la formation de la terre et des planètes, il s'est écoulé peut-être plus de 35000 ans où la chaleur du soleil étoit de trop pour nous, puisque la surface de notre globe étoit encore si chaude au bout de 33911 ans qu'on n'auroit pu la toucher.

Pour évaluer l'effet total de cette compensation, qui est $^1/_{50}$ aujourd'hui, il faut chercher ce qu'elle a été précédemment, à commencer du premier moment lorsque la terre étoit en incandescence; ce que nous trouverons en comparant la chaleur actuelle du globe terrestre avec celle qu'il avoit dans ce temps. Or nous savons par les expériences de Newton, corrigées dans notre premier mémoire, que la chaleur du fer rouge, qui est à très peu près égale à celle du verre en incandescence, est huit fois plus grande que la chaleur de l'eau bouillante, et vingt-quatre fois plus grande que celle du soleil en été. Or cette chaleur du soleil en été, à laquelle Newton a comparé les autres chaleurs, est composée de la chaleur propre de la terre et de celle qui lui vient du soleil en été dans nos climats; et comme cette dernière chaleur n'est que $^1/_{29}$ de la première, il s'ensuit que de $^{30}/_{30}$ ou 1, qui représente ici l'unité de la chaleur en été, il n'en appartient au soleil que $^1/_{30}$, et qu'il en appartient $^{29}/_{30}$ à la terre. Ainsi la chaleur du fer rouge, qui a été trouvée vingt-quatre fois plus grande que ces deux chaleurs prises ensemble, doit être augmentée de $^1/_{30}$ dans la même raison qu'elle est aussi diminuée, et cette augmentation est par conséquent de $^{24}/_{30}$ ou de $^4/_5$. Nous devons donc estimer à très

peu près 25 la chaleur du fer rouge, relativement à la chaleur propre et actuelle du globe terrestre qui nous sert d'unité. On peut donc dire que, dans le temps de l'incandescence, il étoit vingt-cinq fois plus chaud qu'il ne l'est aujourd'hui ; car nous devons regarder la chaleur du soleil comme une quantité constante, ou qui n'a que très peu varié depuis la formation des planètes. Ainsi, la chaleur actuelle du globe étant à celle de son état d'incandescence :: 1 : 25, et la diminution de cette chaleur s'étant faite en même raison que la succession du temps, dont l'écoulement total depuis l'incandescence est de 74047 ans, nous trouverons, en divisant 74047 par 25, que, tous les 2962 ans environ, cette première chaleur du globe a diminué de $1/_{25}$, et qu'elle continuera de diminuer de même jusqu'à ce qu'elle soit entièrement dissipée ; en sorte qu'ayant été 25 il y a 74047 ans, et se trouvant aujourd'hui $25/_{25}$ ou 1, elle sera dans 74047 autres années $1/_{25}$ de ce qu'elle est actuellement.

Mais cette compensation par la chaleur du soleil, étant $1/_{50}$ aujourd'hui, étoit vingt-cinq fois plus petite dans le temps que la chaleur du globe étoit vingt-cinq fois plus grande ; multipliant donc $1/_{50}$ par $1/_{25}$, la compensation dans l'état d'incandescence n'étoit que de $\frac{1}{1250}$. Et comme la chaleur primitive du globe a diminué de $1/_{25}$ tous les 2962 ans, on doit en conclure que dans les derniers 2962 ans la compensation étant $1/_{50}$, et dans les premiers 2962 ans étant $\frac{1}{1250}$, dont la somme est $\frac{26}{1250}$, la compensation des temps suivants et antécédents, c'est-à-dire pendant les 2962 ans précédant les derniers, et pendant les 2962 suivant les premiers, a toujours été égale à $\frac{26}{1250}$; d'où il résulte

que la compensation totale pendant les 74047 ans est $\frac{26}{1250}$ multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de 2962 ans, ce qui donne $\frac{325}{1250}$ ou $\frac{13}{50}$. C'est là toute la compensation que la chaleur du soleil a faite à la perte de la chaleur propre du globe terrestre; cette perte depuis le commencement jusqu'à la fin des 74047 ans étant 25, elle est à la compensation totale comme le temps total de la période est au temps du prolongement du refroidissement pendant cette période de 74047 ans. On aura donc 25 : $^{13}/_{50}$ :: 74047 : 770 ans environ. Ainsi, au lieu de 74047 ans, on doit dire qu'il y a 74817 ans que la terre a commencé de recevoir la chaleur du soleil et de perdre la sienne.

Le feu du soleil, qui nous paroît si considérable, n'ayant compensé la perte de la chaleur propre de notre globe que de $^{13}/_{50}$ sur 25, depuis le premier temps de sa formation, l'on voit évidemment que la compensation qu'a pu produire la chaleur envoyée par la lune et par les autres planètes à la terre est si petite, qu'on pourroit la négliger sans craindre de se tromper de plus de dix ans sur le prolongement des 74817 ans qui se sont écoulés pour le refroidissement de la terre à la température actuelle. Mais, comme dans un sujet de cette espèce on peut désirer que tout soit démontré, nous ferons la recherche de la compensation qu'a pu produire la chaleur de la lune à la perte de la chaleur du globe de la terre.

La lune se seroit refroidie au point de pouvoir en toucher la surface en 6492 ans, et au point de la température actuelle de la terre en 14176 ans, en supposant que la terre se fût elle-même refroidie à ce

point en 74047 ans ; mais, comme elle ne s'est réellement refroidie à la température actuelle qu'en 74817 ans environ, la lune n'a pu se refroidir de même qu'en 14323 ans environ, en supposant encore que rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre. Ainsi sa chaleur étoit, à la fin de cette période de 14323 ans, vingt-cinq fois plus petite que dans le temps de l'incandescence ; et l'on aura, en divisant 14323 par 25, 533 ans environ ; en sorte que tous les 533 ans cette première chaleur de la lune a diminué de $^1/_{25}$, et qu'étant d'abord 25 elle s'est trouvée $^{25}/_{25}$ ou 1 au bout de 14323 ans, et de $^1/_{25}$ au bout de 14323 autres années ; d'où l'on peut conclure que la lune, après 28646 ans, auroit été aussi refroidie que la terre le sera dans 74817 ans, si rien n'eût compensé la perte de la chaleur propre de cette planète.

Mais la lune n'a pu envoyer à la terre une chaleur un peu considérable que pendant le temps qu'a duré son incandescence et son état de chaleur, jusqu'au degré de la température actuelle de la terre ; et elle seroit en effet arrivée à ce point de refroidissement en 14323 ans, si rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre : mais nous démontrerons tout à l'heure que, pendant cette période de 14323 ans, la chaleur du soleil a compensé la perte de la chaleur de la lune, assez pour prolonger le temps de son refroidissement de 149 ans, et nous démontrerons de même que la chaleur envoyée par la terre à la lune, pendant cette même période de 14323 ans, a prolongé son refroidissement de 1937 ans. Ainsi la période réelle du temps du refroidissement de la lune, depuis l'incandescence jusqu'à la température actuelle de la terre,

doit être augmentée de 2086 ans, et se trouve être de 16409 ans au lieu de 14323 ans.

Supposant donc la chaleur qu'elle nous envoyoit, dans le temps de son incandescence, égale à celle qui nous vient du soleil, parce que ces deux astres nous présentent chacun une surface à peu près égale, on verra que cette chaleur envoyée par la lune, étant, comme celle du soleil, $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, ne faisoit compensation dans le temps de l'incandescence que de $\frac{1}{1250}$ à la perte de la chaleur intérieure de notre globe, parce qu'il étoit lui-même en incandescence, et qu'alors sa chaleur propre étoit vingt-cinq fois plus grande qu'elle ne l'est aujourd'hui. Or, au bout de 16409 ans, la lune étant refroidie au même point de température que l'est actuellement la terre, la chaleur que cette planète lui envoyoit dans ce temps n'auroit pu faire qu'une compensation vingt-cinq fois plus petite que la première, c'est-à-dire de $\frac{1}{31250}$, si le globe terrestre eût conservé son état d'incandescence; mais sa première chaleur ayant diminué de $^1/_{25}$ tous les 2962 ans, elle n'étoit plus que de 19 $^1/_2$ environ au bout de 16409 ans. Ainsi la compensation que faisoit alors la chaleur de la lune, au lieu de n'être que de $\frac{1}{31250}$ étoit de $\frac{\frac{19\,^1/_2}{25}}{31250}$. En ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps, c'est-à-dire $\frac{1}{1250}$ avec $\frac{\frac{19\,^1/_2}{25}}{31250}$, on aura $\frac{25\frac{19\,^1/_2}{25}}{31250}$ pour la somme de ces deux compensations, qui étant multipliée par 12 $^1/_2$. moitié de la

somme de tous les termes, donne $\frac{309^3/_4}{51250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur envoyée par la lune à la terre pendant les 16409 ans. Et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps total de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{309^3/_4}{51250}$ :: 16409 : 62 $\frac{26}{125}$ environ. Ainsi la chaleur que la lune a envoyée sur le globe terrestre pendant 16409 ans, c'est-à-dire depuis l'état de son incandescence jusqu'à celui où elle avoit une chaleur égale à la température actuelle de la terre, n'a prolongé le refroidissement de notre globe que de 6 ans $^1/_2$ environ, qui étant ajoutés aux 74817 ans, que nous avons trouvés précédemment, font en tout 74823 $^1/_2$ environ, qu'on doit encore augmenter de 8 ans, parce que nous n'avons compté que 74047 ans, au lieu de 74817, pour le temps du refroidissement de la terre, et que 74047 ans : 770 :: 770 : 8 ans environ; et par conséquent on peut réellement assigner 74831 $^1/_2$ ou 74832 ans, à très peu près, pour le temps précis qui s'est écoulé depuis l'incandescence de la terre jusqu'à son refroidissement à la température actuelle.

On voit, par cette évaluation de la chaleur que la lune a envoyée sur la terre, combien est encore plus petite la compensation que la chaleur des cinq autres planètes a pu faire à la perte de la chaleur intérieure de notre globe : ces cinq planètes, prises ensemble, ne présentent pas à nos yeux une étendue de surface à beaucoup près aussi grande que celle de la lune seule; et quoique l'incandescence des deux grosses planètes ait duré bien plus long-temps que celle de

la lune, et que leur chaleur subsiste encore aujourd'hui à un très haut degré, leur éloignement de nous est si grand, qu'elles n'ont pu prolonger le refroidissement de notre globe que d'une si petite quantité de temps, qu'on peut la regarder comme nulle, et qu'on doit s'en tenir aux 74832 ans que nous avons déterminés pour le temps réel du refroidissement de la terre à la température actuelle.

Maintenant il faut évaluer, comme nous l'avons fait pour la terre, la compensation que la chaleur du soleil a faite à la perte de la chaleur propre de la lune, et aussi la compensation que la chaleur du globe terrestre a pu faire à la perte de cette même chaleur de la lune, et démontrer, comme nous l'avons avancé, qu'on doit ajouter 2086 à la période de 14323 ans, pendant laquelle elle auroit perdu sa chaleur propre jusqu'au point de la température actuelle de la terre, si rien n'eût compensé cette perte.

En faisant donc, sur la chaleur du soleil, le même raisonnement pour la lune que nous avons fait pour la terre, on verra qu'au bout de 14323 ans la chaleur du soleil sur la lune n'étoit que comme sur la terre $^1/_{50}$ de la chaleur propre de cette planète, parce que sa distance au soleil et celle de la terre au même astre sont à très peu près les mêmes : dès lors sa chaleur, dans le temps de l'incandescence, ayant été vingt-cinq fois plus grande, il s'ensuit que tous les 533 ans cette première chaleur a diminué de $^1/_{25}$; en sorte qu'étant d'abord 25, elle n'étoit, au bout de 14323 ans, que $^{25}/_{25}$ ou 1. Or, la compensation que faisoit la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de la lune étant $^1/_{50}$ au bout de 14323 ans, et $\frac{1}{1250}$ dans

le temps de son incandescence, on aura, en ajoutant ces deux termes, $\frac{26}{1250}$, lesquels multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $^{13}/_{50}$ pour la compensation totale pendant cette première période de 14323 ans. Et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $^{13}/_{50}$ :: 14323 : 149 ans environ; d'où l'on voit que le prolongement du temps, pour le refroidissement de la lune par la chaleur du soleil, a été de 149 ans pendant cette première période de 14323 ans; ce qui fait en tout 14472 ans pour le temps du refroidissement, y compris le prolongement qu'a produit la chaleur du soleil.

Mais on doit en effet prolonger encore le temps du refroidissement de cette planète, parce que l'on est assuré, même par les phénomènes actuels, que la terre lui envoie une grande quantité de lumière, et en même temps quelque chaleur. Cette couleur terne qui se voit sur la surface de la lune quand elle n'est pas éclairée du soleil, et à laquelle les astronomes ont donné le nom de *lumière cendrée*, n'est, à la vérité, que la réflexion de la lumière solaire que la terre lui envoie; mais il faut que la quantité en soit bien considérable, pour qu'après une double réflexion elle soit encore sensible à nos yeux d'une distance aussi grande. En effet cette lumière est près de seize fois plus grande que la quantité de lumière qui nous est envoyée par la pleine lune, puisque la surface de la terre est pour la lune près de seize fois plus étendue que la surface de cette planète ne l'est pour nous.

Pour me donner l'idée nette d'une lumière seize

fois plus forte que celle de la lune, j'ai fait tomber dans un lieu obscur, au milieu des miroirs d'Archimède, trente-deux images de la pleine lune, réunies sur les mêmes objets : la lumière de ces trente-deux images étoit seize fois plus forte que la lumière simple de la lune; car nous avons démontré, par les expériences du sixième mémoire, que la lumière en général ne perd qu'environ moitié par la réflexion sur une surface bien polie. Or cette lumière de trente-deux images de la lune m'a paru éclairer les objets autant et plus que celle du jour, lorsque le ciel est couvert de nuages : il n'y a donc point de nuit pour la face de la lune qui nous regarde, tant que le soleil éclaire la face de la terre qui la regarde elle-même.

Mais cette lumière n'est pas la seule émanation bénigne que la lune ait reçue et reçoive de la terre. Dans le commencement des temps, le globe terrestre étoit pour cette planète un second soleil plus ardent que le premier : comme sa distance à la terre n'est que de quatre-vingt-cinq mille lieues, et que la distance du soleil est d'environ trente-trois millions, la terre faisoit alors sur la lune un feu bien supérieur à celui du soleil. Nous ferons aisément l'estimation de cet effet en considérant que la terre présente à la lune une surface environ seize fois plus grande que le soleil, et par conséquent le globe terrestre, dans son état d'incandescence, étoit pour la lune un astre seize fois plus grand que le soleil[1]. Or nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de la lune pendant 14323

1. On peut encore présenter d'une autre manière qui paroîtra peut-être plus claire les raisonnements et les calculs ci-dessus. On sait que

ans a été de $^{13}/_{50}$, et le prolongement du refroidissement, de 149 ans; mais la chaleur envoyée par la terre en incandescence, étant seize fois plus grande que celle du soleil, la compensation qu'elle a faite alors, étoit donc $\frac{16}{1250}$, parce que la lune étoit elle-même en incandescence, et que sa chaleur propre étoit vingt-cinq fois plus grande qu'elle n'étoit au bout des 14323 ans : néanmoins la chaleur de notre globe ayant diminué de 25 à 20 $^{1}/_{7}$ environ depuis son incandescence jusqu'à ce même terme de 14323 ans, il s'ensuit que la chaleur envoyée par la terre à la lune dans ce temps n'auroit fait compensation que de $\frac{12\ ^{22}/_{25}}{1250}$ si la lune eût conservé son état d'incandescence; mais

le diamètre du soleil est à celui de la terre :: 107 : 1, leurs surfaces :: 11,449 : 1, et leurs volumes :: 1225043 : 1.

Le soleil, qui est à peu près éloigné de la terre et de la lune également, leur envoie à chacune une certaine quantité de chaleur, laquelle, comme celle de tous les corps chauds, est en raison de la surface et non pas du volume. Supposant donc le soleil divisé en 1225043 petits globes, chacun gros comme la terre, la chaleur que chacun de ces petits globes enverroit à la lune seroit à celle que le soleil lui envoie comme la surface d'un de ces petits globes est à la surface du soleil, c'est-à-dire :: 1 : 11449. Mais, en mettant ce petit globe de feu à la place de la terre, il est évident que la chaleur sera augmentée dans la même raison que l'espace sera diminué. Or la distance du soleil et celle de la terre à la lune sont entre elles :: 7200 : 17, dont les carrés sont :: 51,840,000 : 289. Donc la chaleur que le petit globe de feu placé à 85,000 lieues de distance de la lune lui enverroit, seroit à celle qu'il lui envoyoit auparavant :: 179,377 : 1. Mais nous avons vu que la surface de ce petit globe n'étoit à celle du soleil que :: 1 : 11,449; ainsi la quantité de chaleur que sa surface enverroit vers la lune est 11,449 fois plus petite que celle du soleil. Divisant donc 179,377 par 11,449, il se trouve que cette chaleur envoyée par la terre en incandescence à la lune étoit 15 $^{2}/_{3}$, c'est-à-dire environ seize fois plus forte que celle du soleil.

sa première chaleur ayant diminué pendant les 14323 ans de 25, la compensation que faisoit alors la chaleur de la terre, au lieu de n'être que de $\frac{12\,^{22}/_{25}}{1250}$ a été de $\frac{12\,^{22}/_{25}}{1250}$ multipliés par 25, c'est-à-dire de $\frac{322}{1250}$. En ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps de cette période de 14323 ans, savoir : $\frac{16}{1250}$ et $\frac{322}{1250}$, on aura $\frac{338}{1250}$ pour la somme de ces deux termes de compensation, qui étant multipliée par $12\,^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donne $\frac{4225}{1250}$ ou $3\,^{49}/_{50}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur envoyée par la terre à la lune pendant les 14323 ans; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura $25 : 3\,^{49}/_{50} :: 14323 :$ 1937 ans environ. Ainsi la chaleur de la terre a prolongé de 1937 ans le refroidissement de la lune pendant la première période de 14323 ans; et la chaleur du soleil l'ayant aussi prolongé de 149 ans, la période du temps réel qui s'est écoulé depuis l'incandescence jusqu'au refroidissement de la lune à la température actuelle de la terre, est de 16409 ans environ.

Voyons maintenant combien la chaleur du soleil et celle de la terre ont compensé la perte de la chaleur propre de la lune dans la période suivante, c'est-à-dire pendant les 14323 ans qui se sont écoulés depuis la fin de la première période, où sa chaleur auroit été égale à la température actuelle de la terre, si rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre.

La compensation par la chaleur du soleil à la perte

de la chaleur propre de la lune étoit $^{1}/_{50}$ au commencement, et $^{25}/_{50}$ à la fin de cette seconde période. La somme de ces deux termes est $^{26}/_{50}$, qui, étant multipliée par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donne $\frac{325}{50}$ ou 6 $^{1}/_{2}$, pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant la seconde période de 14323 ans. Mais la lune ayant perdu, pendant ce temps, 25 de sa chaleur propre, et la perte de la chaleur propre étant à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 6 $^{1}/_{2}$ :: 14323 : 3724 ans. Ainsi le prolongement du temps pour le refroidissement de la lune par la chaleur du soleil, ayant été de 149 ans dans la première période, a été de 3728 ans pour la seconde période de 14323 ans.

Et à l'égard de la compensation produite par la chaleur de la terre, pendant cette même seconde période de 14323 ans, nous avons vu qu'au commencement de cette seconde période, la chaleur propre du globe terrestre étant de 20 $^{1}/_{7}$, la compensation qu'elle a faite alors a été de $\frac{322\ ^{2}/_{7}}{1250}$. Or la chaleur de la terre ayant diminué pendant cette seconde période de 20 $^{1}/_{7}$ à 15 $^{2}/_{7}$, la compensation n'eût été que $\frac{244\ ^{13}/_{28}}{1250}$ environ à la fin de cette seconde période, si la lune eût conservé le degré de chaleur qu'elle avoit au commencement de cette même période : mais comme sa chaleur propre a diminué de $^{25}/_{25}$ à $^{1}/_{25}$ pendant cette seconde période, la compensation produite par la chaleur de la terre, au lieu de n'être que $\frac{244\ ^{13}/_{28}}{1250}$, a été de $\frac{6111\ ^{17}/_{28}}{1250}$ à la fin de cette seconde période; ajou-

tant les deux termes de compensation du premier et du dernier temps de cette seconde période, c'est-à-dire $\frac{522\ ^1/_7}{1250}$ et $\frac{6111\ ^{17}/_{28}}{1250}$, on aura $\frac{6433\ ^6/_7}{1250}$, qui, étant multipliés par $12\ ^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{80423}{1250}$ ou $64\ ^1/_3$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur envoyée par la terre à la lune dans cette seconde période; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : 64\ ^1/_3 :: 14323 : 38057$ ans environ. Ainsi le prolongement du refroidissement de la lune par la chaleur de la terre, qui a été de 1937 ans pendant la première période, se trouve de 38057 ans environ pour la seconde période de 14323 ans.

A l'égard du moment où la chaleur envoyée par le soleil à la lune a été égale à sa chaleur propre, il ne s'est trouvé ni dans la première ni dans la seconde période de 14323 ans, mais dans la troisième précisément, au second terme de cette troisième période, qui, multiplié par $572\ ^{23}/_{25}$, donne $1145\ ^{21}/_{25}$, lesquels, ajoutés aux 28646 années des deux périodes, font 29791 ans $^{21}/_{25}$. Ainsi, c'est dans l'année 29792 de la formation des planètes que l'accession de la chaleur du soleil a commencé à égaler, et ensuite surpasser la déperdition de la chaleur propre de la lune.

Le refroidissement de cette planète a donc été prolongé pendant la première période, 1° de 149 ans par la chaleur du soleil; 2° de 1937 ans par la chaleur de la terre, et, dans la seconde période, le refroidissement de la lune a été prolongé; 3° de 3724 ans par la chaleur du soleil, et 4° de 38057 ans par la chaleur de

la terre. En ajoutant ces quatre termes, on aura 43867 ans, qui, étant joints aux 28646 ans des deux périodes, font en tout 72513 ans : d'où l'on voit que c'a été dans l'année 72513, c'est-à-dire il y a 2318 ans, que la lune a été refroidie au point de $^{1}/_{25}$ de la température actuelle du globe de la terre.

La plus grande chaleur que nous ayons comparée à celle du soleil ou de la terre est la chaleur du fer rouge ; et nous avons trouvé que cette chaleur extrême n'est néanmoins que vingt-cinq fois plus grande que la chaleur actuelle du globe de la terre ; en sorte que notre globe, lorsqu'il étoit en incandescence, ayant 25 de chaleur, n'en a plus que la vingt-cinquième partie, c'est-à-dire $^{25}/_{25}$ ou 1 ; et, en supposant la première période de 74047 ans, on doit conclure que, dans une seconde période semblable de 74047 ans, cette chaleur ne sera plus que $^{1}/_{25}$ de ce qu'elle étoit à la fin de la première période, c'est-à-dire il y a 785 ans. Nous regarderons le terme $^{1}/_{25}$ comme celui de la plus petite chaleur, de la même façon que nous avons pris 25 comme celui de la plus forte chaleur dont un corps solide puisse être pénétré. Cependant ceci ne doit s'entendre que relativement à notre propre nature et à celle des êtres organisés : car cette chaleur $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre est encore double de celle qui nous vient du soleil ; ce qui fait une chaleur considérable, et qui ne peut être regardée comme très petite que relativement à celle qui est nécessaire au maintien de la nature vivante ; car il est démontré, même par ce que nous venons d'exposer, que si la chaleur actuelle de la terre étoit vingt-cinq fois plus petite qu'elle ne l'est, toutes les

matières fluides du globe seroient gelées, et que ni l'eau, ni la sève, ni le sang, ne pourroient circuler; et c'est par cette raison que j'ai regardé le terme $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe comme le point de la plus petite chaleur, relativement à la nature organisée, puisque de la même manière qu'elle ne peut naître dans le feu, ni exister dans la très grande chaleur, elle ne peut de même subsister sans chaleur ou dans une trop petite chaleur. Nous tâcherons d'indiquer plus précisément les termes de froid et de chaud où les êtres vivants cesseroient d'exister : mais il faut voir auparavant comment se fera le progrès du refroidissement du globe terrestre jusqu'à ce point $^1/_{25}$ de sa chaleur actuelle.

Nous avons deux périodes de temps, chacune de 74047 ans, dont la première est écoulée, et a été prolongée de 785 ans par l'accession de la chaleur du soleil et de celle de la lune. Dans cette première période, la chaleur propre de la terre s'est réduite de 25 à 1; et dans la seconde période, elle se réduira de 1 à $^1/_{25}$. Or nous n'avons à considérer dans cette seconde période que la compensation de la chaleur du soleil; car on voit que la chaleur de la lune est depuis longtemps si foible, qu'elle ne peut envoyer à la terre qu'une si petite quantité, qu'on doit la regarder comme nulle. Or la compensation par la chaleur du soleil étant $^1/_{50}$ à la fin de la première période de la chaleur propre de la terre, sera par conséquent $^{25}/_{50}$ à la fin de la seconde période de 74047 ans : d'où il résulte que la compensation totale que produira la chaleur du soleil pendant cette seconde période sera $\frac{325}{50}$ ou 6 $^1/_2$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensa-

tion totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 6 $^1/_2$ :: 74047 : 19252 environ. Ainsi la chaleur du soleil qui a prolongé le refroidissement de la terre de 770 ans pour la première période, le prolongera pour la seconde de 19252 ans.

Et le moment où la chaleur du soleil sera égale à la chaleur propre de la terre ne se trouvera pas encore dans cette seconde période, mais au second terme d'une troisième période de 74047 ans; et comme chaque terme de ces périodes est de 2962 ans, en les multipliant par 2, on a 5924 ans, lesquels ajoutés aux 148094 ans des deux premières périodes, il se trouve que ce ne sera que dans l'année 154018 de la formation des planètes que la chaleur envoyée du soleil à la terre sera égale à sa chaleur propre.

Le refroidissement du globe terrestre a donc été prolongé de 776 ans $^1/_2$ pour la première période, tant par la chaleur du soleil que par celle de la lune, et il sera encore prolongé de 19252 ans par la chaleur du soleil pour la seconde période de 74047 ans. Ajoutant ces deux termes aux 148094 ans des deux périodes, on voit que ce ne sera que dans l'année 168123 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 93291 ans que la terre sera refroidie au point de $^1/_{25}$ de la température actuelle, tandis que la lune l'a été dans l'année 72514, c'est-à-dire il y a 2318 ans, et l'auroit été bien plus tôt si elle ne tiroit, comme la terre, des secours de chaleur que du soleil, et si celle que lui a envoyée la terre n'avoit pas retardé son refroidissement beaucoup plus que celle du soleil.

Recherchons maintenant quelle a été la compensa-

tion qu'a faite la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre des cinq autres planètes.

Nous avons vu que Mercure, dont le diamètre n'est que $^1/_3$ de celui du globe terrestre, se seroit refroidi au point de notre température actuelle en 50351 ans, dans la supposition que la terre se fût refroidie à ce même point en 74047 ans; mais, comme elle ne s'est réellement refroidie à ce point qu'en 74832 ans, Mercure n'a pu se refroidir de même qu'en 50884 ans $^5/_7$ environ, et cela, en supposant encore que rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre. Mais sa distance au soleil étant à celle de la terre au même astre :: 4 : 10, il s'ensuit que la chaleur qu'il reçoit du soleil, en comparaison de celle que reçoit la terre, est :: 100 : 16, ou :: 6 $^1/_4$: 1. Dès lors la compensation qu'a faite la chaleur du soleil lorsque cette planète étoit à la température actuelle de la terre, au lieu de n'être que $^1/_{50}$, étoit $\frac{6\,^1/_4}{50}$, et dans le temps de son incandescence, c'est-à-dire 50884 ans $^5/_7$ auparavant, cette compensation n'étoit que $\frac{6\,^1/_4}{1250}$. Ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{6\,^1/_4}{50}$ et $\frac{6\,^1/_4}{1250}$ du premier et du dernier temps de cette période, on aura $\frac{162\,^1/_2}{1250}$, qui étant multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{2031\,^1/_4}{1250}$ ou 1 $\frac{781\,^1/_4}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 50884 ans $^5/_7$; et, comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25

: 1 $\frac{781\ ^1/_4}{1250}$ :: 50884 $^5/_7$: 3307 ans $^1/_2$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil a prolongé le refroidissement de Mercure a été de 3307 ans $^1/_2$ pour la première période de 50884 ans $^5/_7$: d'où l'on voit que c'a été dans l'année 54192 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 20640 ans que Mercure jouissoit de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Mais, dans la seconde période, la compensation étant au commencement $\frac{6\ ^1/_4}{50}$, et à la fin $\frac{156\ ^1/_4}{50}$, on aura, en ajoutant ces temps, $\frac{162\ ^1/_2}{50}$, qui étant multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{2031\ ^1/_4}{50}$ ou 40 $^5/_8$ pour la compensation totale par la chaleur du soleil dans cette seconde période; et, comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : 40 $^5/_8$ :: 50884 $^5/_7$: 82688 ans environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil a prolongé et prolongera celui du refroidissement de Mercure, ayant été de 3307 ans $^1/_2$ dans la première période, sera pour la seconde de 82688 ans.

Le moment où la chaleur du soleil s'est trouvée égale à la chaleur propre de cette planète est au huitième terme de cette seconde période qui, multiplié par 2035 $^1/_{51}$ environ, nombre des années de chaque terme de cette période, donne 16283 ans environ, lesquels étant ajoutés aux 50884 ans $^5/_7$ de la période, c'a été dans l'année 67167 de la formation des planètes que la chaleur du soleil a commencé de surpasser la chaleur propre de Mercure.

Le refroidissement de cette planète a donc été prolongé de 3307 ans $^{1}/_{2}$ pendant la première période de 50884 ans $^{1}/_{2}$, et sera prolongé de même par la chaleur du soleil de 82688 ans pour la seconde période. Ajoutant ces deux nombres d'années à celui des deux périodes, on aura 187765 ans environ : d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 187765 de la formation des planètes que Mercure sera refroidi à $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Vénus, dont le diamètre est $^{17}/_{18}$ de celui de la terre, se seroit refroidie au point de notre température actuelle en 88815 ans, dans la supposition que la terre se fût refroidie à ce même point en 74047 ans; mais comme elle ne s'est réellement refroidie à la température actuelle qu'en 74832 ans, Vénus n'a pu se refroidir de même qu'en 89757 ans environ, en supposant encore que rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre. Mais sa distance au soleil étant à celle de la terre au même astre comme 7 sont à 10, il s'ensuit que la chaleur que Vénus reçoit du soleil, en comparaison de celle que reçoit la terre, est :: 100 : 49. Dès lors la compensation que fera la chaleur du soleil lorsque cette planète sera à la température actuelle de la terre, au lieu de n'être que $^{1}/_{50}$, sera $\frac{2\,^{1}/_{50}}{50}$; et dans le temps de son incandescence, cette compensation n'a été que $\frac{2\,^{1}/_{50}}{1250}$. Ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps de cette première période de 89757 ans, on aura $\frac{52\,^{1}/_{50}}{1250}$, qui étant multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{656\,^{1}/_{2}}{5250}$, pour la compensa-

tion totale qu'a faite et que fera la chaleur du soleil pendant cette première période de 89757 ans; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{626\ ^1/_2}{1250} :: 89757 : 1885$ ans $^1/_2$ environ. Ainsi le prolongement du refroidissement de cette planète par la chaleur du soleil sera de 1885 ans $^1/_2$ environ pendant cette première période de 89757 ans: d'où l'on voit que ce sera dans l'année 91643 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 16811 ans, que cette planète jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Dans la seconde période, la compensation étant au commencement $\frac{2\ ^1/_{50}}{50}$, et à la fin $\frac{50\ ^1/_2}{50}$, on aura, en ajoutant ces termes, $\frac{52\ ^{13}/_{25}}{50}$ qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{656\ ^1/_2}{50}$ ou 13 $\frac{13}{100}$ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant cette seconde période; et, comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : 13\ \frac{13}{100} :: 89757 : 47140$ ans $^9/_{25}$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil a prolongé le refroidissement de Vénus, étant pour la première période de 1885 ans $^1/_2$, sera pour la seconde de 47140 ans $^9/_{25}$ environ.

Le moment où la chaleur du soleil sera égale à la chaleur propre de cette planète se trouve au 24 $\frac{76}{101}$, terme de l'écoulement du temps de cette seconde période, qui multiplié par 3590 $^7/_{25}$ environ, nombre

des années de chaque terme de ces périodes de 89757 ans, donne 86167 ans $^{7}/_{25}$ environ, lesquels étant ajoutés aux 89757 ans de la période, on voit que ce ne sera que dans l'année 175924 de la formation des planètes que la chaleur du soleil sera égale à la chaleur propre de Vénus.

Le refroidissement de cette planète sera donc prolongé de 1885 ans $^{1}/_{2}$ pendant la première période de 89757 ans, et sera prolongé de même de 47140 ans $^{9}/_{25}$ dans la seconde période. En ajoutant ces deux nombres d'années à celui des deux périodes, qui est de 179514 ans, on voit que ce ne sera que dans l'année 228540 de la formation des planètes que Vénus sera refroidie à $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Mars, dont le diamètre est $^{13}/_{25}$ de celui de la terre, se seroit refroidi au point de notre température actuelle en 28108 ans, dans la supposition que la terre se fût refroidie à ce même point en 74047 ans; mais, comme elle ne s'est réellement refroidie à ce point qu'en 74832 ans, Mars n'a pu se refroidir qu'en 28406 ans environ, en supposant encore que rien n'eût compensé la perte de sa chaleur propre. Mais sa distance au soleil étant à celle de la terre au même astre :: 15 : 10, il s'ensuit que la chaleur qu'il reçoit du soleil, en comparaison de celle que reçoit la terre, est :: 100 : 225, ou :: 4 : 9. Dès lors la compensation qu'a faite la chaleur du soleil lorsque cette planète étoit à la température actuelle de la terre, au lieu d'être $^{1}/_{50}$, n'étoit que $\frac{\frac{4}{9}}{50}$; et dans le temps de l'incandescence, cette compensation n'étoit que $\frac{\frac{4}{9}}{1250}$. Ajou-

tant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps de cette première période de 28406 ans, on aura $\frac{\frac{104}{9}}{1250}$, qui étant multipliés par $12\,{}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{9}}{1250}$ ou $\frac{144\,{}^{4}/_{9}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période ; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{144\,{}^{4}/_{9}}{1250} :: 28406 : 131$ ans ${}^{5}/_{10}$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil a prolongé le refroidissement de Mars a été d'environ 131 ans ${}^{3}/_{10}$ pour la première période de 28406 ans : d'où l'on voit que c'a été dans l'année 28538 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 46294 ans, que Mars étoit à la température actuelle de la terre.

Mais, dans la seconde période, la compensation étant au commencement $\frac{\frac{4}{9}}{50}$, et à la fin $\frac{\frac{100}{9}}{50}$, on aura, en ajoutant ces termes, $\frac{\frac{104}{9}}{50}$, qui multipliés par $12\,{}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{9}}{50}$ ou $\frac{144\,{}^{4}/_{9}}{50}$ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant cette seconde période ; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au

prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{144\ 4/9}{50}$ :: 28406 : 3382 ans $\frac{59}{125}$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil a prolongé le refroidissement de Mars dans la première période, ayant été de 131 ans $^3/_{10}$, sera dans la seconde de 3382 ans $\frac{59}{125}$.

Le moment où la chaleur du soleil s'est trouvée égale à la chaleur propre de cette planète est au $12\ ^1/_2$, terme de l'écoulement du temps dans cette seconde période, qui multiplié par $1136\ ^6/_{25}$, nombre des années de chaque terme de ces périodes, donne 14203 ans, lesquels étant ajoutés aux 28406 ans de la première période, on voit que c'a été dans l'année 32609 de la formation des planètes que la chaleur du soleil a été égale à la chaleur propre de cette planète, et que depuis ce temps elle l'a toujours surpassée.

Le refroidissement de Mars a donc été prolongé par la chaleur du soleil, de 131 ans $^3/_{10}$ pendant la première période, et l'a été dans la seconde période de 3382 ans $\frac{59}{125}$. Ajoutant ces deux termes à la somme des deux périodes, on aura 60325 ans $\frac{19}{390}$ environ : d'où l'on voit que c'a été dans l'année 60326 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 14506 ans, que Mars a été refroidi à $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre.

Jupiter, dont le diamètre est onze fois plus grand que celui de la terre, et sa distance au soleil :: 52 : 10, ne se refroidira au point de la terre qu'en 237838 ans, abstraction faite de toute compensation que la chaleur du soleil et celle de ses satellites ont pu et pourront faire à la perte de sa chaleur propre, et surtout en supposant que la terre se fût refroidie au point de la température actuelle en 74047 ans; mais, comme

elle ne s'est réellement refroidie à ce point qu'en 74832 ans, Jupiter ne pourra se refroidir au même point qu'en 240358 ans. Et en ne considérant d'abord que la compensation faite par la chaleur du soleil sur cette grosse planète, nous verrons que la chaleur qu'elle reçoit du soleil est à celle qu'en reçoit la terre :: 100 : 2704, ou :: 25 : 676. Dès lors la compensation que fera la chaleur du soleil lorsque Jupiter sera refroidi à la température actuelle de la terre, au lieu d'être $^1/_{50}$, ne sera que $\frac{\frac{25}{676}}{50}$; et dans le temps de l'incandescence, cette compensation n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$. Ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps de cette première période de 240358 ans, on a $\frac{\frac{650}{676}}{1250}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{8125}{676}}{1250}$ ou $\frac{12\frac{11}{676}}{1250}$ pour la compensation totale que fera la chaleur du soleil pendant cette première période de 240358 ans; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ :: 240358 : 93 ans environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil prolongera le refroidissement de Jupiter ne sera que de 93 ans pour la première période de 240358 ans : d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 240451 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 165619 ans, que le globe de Jupiter

sera refroidi au point de la température actuelle du globe de la terre.

Dans la seconde période, la compensation, étant au commencement $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, sera à la fin $\frac{\frac{625}{676}}{50}$. En ajoutant ces deux termes, on aura $\frac{\frac{650}{676}}{50}$, qui multipliés par $12\,{}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{8125}{676}}{50}$ ou $12\frac{\frac{11}{676}}{50}$ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant cette seconde période; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $12\frac{\frac{11}{676}}{50}$ :: 240358 : 2311 ans environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil prolongera le refroidissement de Jupiter, n'étant que de 93 ans dans la première période, sera de 2311 ans pour la seconde période de 240358 ans.

Le moment où la chaleur du soleil se trouvera égale à la chaleur propre de cette planète est si éloigné, qu'il n'arrivera pas dans cette seconde période, ni même dans la troisième, quoiqu'elles soient chacune de 240358 ans; en sorte qu'au bout de 721074 ans la chaleur propre de Jupiter sera encore plus grande que celle qu'il reçoit du soleil.

Car, dans la troisième période, la compensation étant au commencement $\frac{\frac{625}{676}}{50}$, elle sera à la fin de cette même troisième période $25\frac{\frac{77}{676}}{50}$; ce qui démontre qu'à

la fin de cette troisième période, où la chaleur de Jupiter ne sera que $\frac{1}{625}$ de la chaleur actuelle de la terre, elle sera néanmoins de près de moitié plus forte que celle du soleil; en sorte que ce ne sera que dans la quatrième période, où le moment entre l'égalité de la chaleur du soleil et celle de la chaleur propre de Jupiter se trouvera au $2\frac{102}{625}$, terme de l'écoulement du temps dans cette quatrième période, qui multiplié par 9614 $^1/_{25}$, nombre des années de chaque terme de ces périodes de 240358 ans, donne 19228 ans $^4/_5$ environ, lesquels, ajoutés aux 721074 ans des trois périodes précédentes, font en tout 740302 ans $^4/_5$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans ce temps prodigieusement éloigné que la chaleur du soleil sur Jupiter se trouvera égale à sa chaleur propre.

Le refroidissement de cette grosse planète sera donc prolongé, par la chaleur du soleil, de 93 ans pour la première période, et de 2311 ans pour la seconde. Ajoutant ces deux nombres d'années aux 480716 des deux premières périodes, on aura 483120 ans : d'où il résulte que ce ne sera que dans l'année 483121 de la formation des planètes que Jupiter pourra être refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Saturne, dont le diamètre est à celui du globe terrestre :: 9 $^1/_2$: 1, et dont la distance du soleil est à celle de la terre au même astre aussi :: 9 $^1/_2$: 1, perdroit de sa chaleur propre, au point de la température actuelle de la terre, en 129434 ans, dans la supposition que la terre se fût refroidie à ce même

point en 74047 ans; mais, comme elle ne s'est réellement refroidie à la température actuelle qu'en 74832 ans, Saturne ne se refroidira qu'en 130806 ans, en supposant encore que rien ne compenseroit la perte de sa chaleur propre. Mais la chaleur du soleil, quoique très foible à cause de son grand éloignement, la chaleur de ses satellites, celle de son anneau, et même celle de Jupiter, duquel il n'est qu'à une distance médiocre en comparaison de son éloignement du soleil, ont du faire quelque compensation à la perte de sa chaleur propre, et par conséquent prolonger un peu le temps de son refroidissement.

Nous ne considérerons d'abord que la compensation qu'a dû faire la chaleur du soleil. Cette chaleur que reçoit Saturne est à celle que reçoit la terre :: 100 : 9025, ou :: 4 : 361. Dès lors la compensation que fera la chaleur du soleil lorsque cette planète sera refroidie à la température actuelle de la terre, au lieu d'être $^1/_{50}$, ne sera que $\frac{\frac{4}{361}}{50}$; et dans le temps de l'incandescence, cette compensation n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$. Ajoutant ces deux termes, on aura $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ pour la compensation totale que fera la chaleur du soleil dans les 130806 ans de la première période; et comme la perte de la chaleur pro-

pre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ :: 130806 : 15 ans environ. Ainsi la chaleur du soleil ne prolongera le refroidissement de Saturne que de 15 ans pendant cette première période de 130806 ans : d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 130821 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 55989 ans, que cette planète pourra être refroidie au point de la température actuelle de la terre.

Dans la seconde période, la compensation pour la chaleur envoyée du soleil, étant au commencement $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, sera, à la fin de cette même période, $\frac{\frac{100}{361}}{50}$. Ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps par la chaleur du soleil dans cette seconde période, on aura $\frac{\frac{104}{361}}{50}$, qui multipliés par $12\,{}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{50}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{50}$, pour la compensation totale que fera la chaleur du soleil pendant cette seconde période ; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps total de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{50}$ :: 130806 : 377 ans environ. Ainsi le temps dont la chaleur du soleil prolongera le refroidissement de Saturne, étant de 15 ans

pour la première période, sera de 377 ans pour la seconde. Ajoutant ensemble les 15 ans et les 377 ans dont la chaleur du soleil prolongera le refroidissement de Saturne pendant les deux périodes de 130806 ans, on verra que ce ne sera que dans l'année 252020 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 187188 ans, que cette planète pourra être refroidie à $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre.

Dans la troisième période, le premier terme de la compensation par la chaleur du soleil étant $\frac{\frac{100}{361}}{50}$ au commencement, et à la fin $\frac{\frac{2500}{361}}{50}$ ou $\frac{6\frac{334}{361}}{50}$, on voit que ce ne sera pas encore dans cette troisième période qu'arrivera le moment où la chaleur du soleil sera égale à la chaleur propre de cette planète, quoiqu'à la fin de cette troisième période elle aura perdu de sa chaleur propre, au point d'être refroidie à $\frac{1}{625}$ de la température actuelle de la terre. Mais ce moment se trouvera au septième terme $^{11}/_{50}$ de la quatrième période, qui multiplié par 5232 ans $^{6}/_{25}$, nombre des années de chaque terme de ces périodes de 130806 ans, donne 37776 ans $^{19}/_{23}$, lesquels étant ajoutés au trois premières périodes dont la somme est 392418 ans, font 430194 ans $^{10}/_{25}$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 430195 de la formation des planètes que la chaleur du soleil se trouvera égale à la chaleur propre de Saturne.

Les périodes des temps du refroidissement de la terre et des planètes sont donc dans l'ordre suivant :

REFROIDIES A LA TEMPÉRATURE ACTUELLE.			REFROIDIES à $\frac{1}{25}$ de la température ACTUELLE.	
La Terre.	en	74832 ans.	En. . . .	168123 ans.
La Lune.	en	16409	En. . . .	72513
Mercure.	en	54192	En. . . .	187765
Vénus.	en	91643	En. . . .	228540
Mars.	en	28538	En. . . .	60326
Jupiter.	en	240451	En. . . .	483121
Saturne.	en	130821	En. . . .	262020

On voit, en jetant un coup d'œil sur ces rapports, que, dans notre hypothèse, la lune et Mars sont actuellement les planètes les plus froides; que Saturne, et surtout Jupiter, sont les plus chaudes; que Vénus est encore bien plus chaude que la terre; et que Mercure, qui a commencé depuis long-temps à jouir d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre, est encore actuellement et sera pour long-temps au degré de chaleur qui est nécessaire pour le maintien de la nature vivante, tandis que la lune et Mars sont gelés depuis long-temps, et par conséquent impropres, depuis ce même temps, à l'existence des êtres organisés.

Je ne peux quitter ces grands objets sans rechercher encore ce qui s'est passé et se passera dans les satellites de Jupiter et de Saturne, relativement au temps du refroidissement de chacun en particulier. Les astronomes ne sont pas absolument d'accord sur la grandeur relative de ces satellites : et, pour ne parler d'abord que de ceux de Jupiter, Whiston a prétendu que le troisième de ses satellites étoit le plus grand de tous, et il l'a estimé de la même grosseur à

peu près que le globe terrestre; ensuite il dit que le premier est un peu plus gros que Mars, le second un peu plus grand que Mercure, et que le quatrième n'est guère plus grand que la lune. Mais notre plus illustre astronome (Dominique Cassini) a jugé, au contraire, que le quatrième satellite étoit le plus grand de tous. Plusieurs causes concourent à cette incertitude sur la grandeur des satellites de Jupiter et de Saturne : j'en indiquerai quelques unes dans la suite; mais je me dispenserai d'en faire ici l'énumération et la discussion, ce qui m'éloigneroit trop de mon sujet : je me contenterai de dire qu'il me paroît plus que probable que les satellites les plus éloignés de leur planète principale sont réellement les plus grands, de la même manière que les planètes les plus éloignées du soleil sont aussi les plus grosses. Or les distances des quatre satellites de Jupiter, à commencer par le plus voisin, qu'on appelle le premier, sont, à très peu près, comme $5\,^2/_3$, 9, $14\,^1/_3$, $25\,^1/_4$; et leur grandeur n'étant pas encore bien déterminée, nous supposerons, d'après l'analogie dont nous venons de parler, que le plus voisin ou le premier n'est que de la grandeur de la lune, le second de celle de Mercure, le troisième de la grandeur de Mars, et le quatrième de celle du globe de la terre; et nous allons rechercher combien le bénéfice de la chaleur de Jupiter a compensé la perte de leur chaleur propre.

Pour cela nous regarderons comme égale la chaleur envoyée par le soleil à Jupiter et à ses satellites, parce qu'en effet leurs distances à cet astre de feu sont à peu près les mêmes. Nous supposerons aussi, comme chose très plausible, que la densité des satel-

lites de Jupiter est égale à celle de Jupiter même[1].

Cela posé, nous verrons que le premier satellite, grand comme la lune, c'est-à-dire qui n'a que $^3/_{11}$ du diamètre de la terre, se seroit consolidé jusqu'au centre en 792 ans $^3/_{11}$, refroidi au point de pouvoir le toucher en 9248 ans $^5/_{11}$, et au point de la température actuelle de la terre en 20194 ans $^7/_{11}$, si la densité de ce satellite n'étoit pas différente de celle de la terre; mais, comme la densité du globe terrestre est à celle de Jupiter ou de ses satellites :: 1000 : 292, il s'ensuit que le temps employé à la consolidation jusqu'au centre et au refroidissement doit être diminué dans la même raison, en sorte que ce satellite se sera consolidé en 231 ans [illegible], refroidi au point d'en pouvoir toucher la surface en 2690 ans $^2/_3$, et qu'enfin il auroit perdu assez de sa chaleur propre pour être refroidi à la température actuelle de la terre en 5897 ans, si rien n'eût compensé cette perte de sa chaleur propre. Il est vrai qu'à cause du grand éloignement du soleil, la chaleur envoyée par cet astre sur les satellites ne pourroit faire qu'une très légère compensation, telle que nous l'avons vue sur Jupiter même. Mais la chaleur que Jupiter envoyoit à ses satellites étoit prodigieusement grande, surtout dans les premiers temps; et il est très nécessaire d'en faire ici l'évaluation.

Commençant par celle du soleil, nous verrons que cette chaleur envoyée du soleil étant en raison inverse

1. Quand même on se refuseroit à cette supposition de l'égalité de densité dans Jupiter et ses satellites, cela ne changeroit rien à ma théorie, et les résultats du calcul seroient seulement un peu différents; mais le calcul lui-même ne seroit pas plus difficile à faire.

du carré des distances, la compensation qu'elle a faite, dans le temps de l'incandescence, n'étoit que $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période de 5897 ans, cette compensation n'étoit que $\frac{\frac{25}{676}}{50}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ du premier et du dernier temps de cette première période de 5897 ans, on aura $\frac{\frac{650}{676}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{8125}{676}}{1250}$ ou $\frac{12\frac{11}{676}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{12\frac{14}{676}}{1250}$ :: 5897 : 2 ans $^4/_{15}$. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil pendant cette première période de 5897 ans n'a été que de 2 ans 97 jours.

Mais la chaleur de Jupiter, qui étoit 25 dans le temps de l'incandescence, n'avoit diminué au bout de la période de 5897 ans que de $^{14}/_{23}$ environ, et elle étoit encore alors 24 $^9/_{23}$; et comme ce satellite n'est éloigné de sa planète principale que de 5 $^2/_3$ demi-diamètres de Jupiter, ou de 62 $^1/_2$ demi-diamètres terrestres, c'est-à-dire de 89292 lieues, tandis que sa distance au soleil est de 171 millions 600 mille

lieues, la chaleur envoyée par Jupiter à son premier satellite auroit été à la chaleur envoyée par le soleil à ce même satellite comme le carré de 171600000 est au carré de 89292, si la surface que Jupiter présente à ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil : mais la surface de Jupiter, qui n'est dans le réel que $\frac{121}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à ce satellite plus grande que ne lui paroît celle de cet astre dans le rapport inverse du carré des distances; on aura donc $(89292)^2 : (171600000)^2 :: \frac{121}{11449} :$ $39032\,^1/_2$ environ. Donc la surface que présente Jupiter à ce satellite étant 39032 fois $^1/_2$ plus grande que celle que lui présente le soleil, cette grosse planète dans le temps de l'incandescence étoit pour son premier satellite un astre de feu 39032 fois $^1/_2$ plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, lorsqu'au bout de 5897 ans il se seroit refroidi à la température actuelle de la terre par la déperdition de sa chaleur propre, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'a été que de $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$: il faut donc multiplier ces deux termes de compensation par $39032\,^1/_2$, et l'on aura $\frac{1443^1/_2}{1250}$ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Jupiter dès le commencement de cette période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{1443^1/_2}{50}$ pour la compensation que Jupiter auroit faite à la fin de cette même période de

5897 ans, s'il eût conservé son état d'incandescence. Mais, comme sa chaleur propre a diminué de 25 à $24\ ^9/_{23}$ pendant cette même période, la compensation à la fin de la période, au lieu d'être $\frac{1443\,^1/_2}{50}$, n'a été que $\frac{1408\,\frac{203}{578}}{50}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{1408\,\frac{203}{565}}{50}$ et $\frac{1443\,^1/_2}{1256}$ de la compensation dans le premier et le dernier temps de la période, on a $\frac{36652\,^3/_{19}}{1250}$, lesquels multipliés par $12\ ^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{458153\,^3/_4}{1250}$, ou $366\ ^1/_2$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Jupiter à la perte de la chaleur propre de son premier satellite pendant cette première période de 5897 ans; et, comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : 366\,^1/_2 :: 5897 : 86450$ ans $^1/_{50}$. Ainsi le temps dont la chaleur envoyée par Jupiter à son premier satellite a prolongé son premier refroidissement pendant cette première période est de 86450 ans $^1/_{50}$; et le temps dont la chaleur du soleil a aussi prolongé le refroidissement de ce satellite pendant cette même période de 5897 ans n'ayant été que de 2 ans 97 jours, il se trouve que le temps du refroidissement de ce satellite a été prolongé d'environ 86452 ans $^1/_2$ au delà de 5897 ans de la période: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 92350 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 17518 ans, que le premier satellite de Jupiter pourra être refroidi au point de la température actuelle de la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite étoit égale à sa chaleur propre s'est trouvé dans le temps de l'incandescence, et même auparavant, si la chose eût été possible ; car cette masse énorme de feu, qui étoit 39032 fois $^1/_2$ plus grande que le soleil pour ce satellite, lui envoyoit, dès le temps de l'incandescence de tous deux, une chaleur plus forte que la sienne propre, puisqu'elle étoit 1443 $^1/_2$, tandis que celle du satellite n'étoit que 1250. Ainsi c'a été de tout temps que la chaleur de Jupiter sur son premier satellite a surpassé la perte de sa chaleur propre.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite ayant toujours été fort au dessous de la chaleur envoyée par Jupiter, on doit évaluer autrement la température du satellite ; en sorte que l'estimation que nous venons de faire du prolongement du refroidissement, et que nous avons trouvé être de 86452 ans $^1/_2$, doit être encore augmentée de beaucoup : car, dès le temps de l'incandescence, la chaleur extérieure envoyée par Jupiter étoit plus grande que la chaleur propre du satellite dans la raison de 1433 $^1/_2$ à 1250 ; et, à la fin de la première période de 5897 ans, cette chaleur envoyée par Jupiter étoit plus grande que la chaleur propre du satellite dans la raison de 1408 à 50, ou de 140 à 5 à peu près ; et de même à la fin de la seconde période, la chaleur envoyée par Jupiter étoit à la chaleur propre du satellite :: 3433 : 5. Ainsi la chaleur propre du satellite, dès la fin de la première période, peut être regardée comme si petite en comparaison de la chaleur envoyée par Jupiter, qu'on doit tirer le temps du re-

froidissement de ce satellite presque uniquement de celui du refroidissement de Jupiter.

Or Jupiter, ayant envoyé à ce satellite, dans le temps de l'incandescence, 39032 fois $^1/_2$ plus de chaleur que le soleil, lui envoyoit encore, au bout de la première période de 5897 ans, une chaleur 38082 fois $^1/_{25}$ plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit diminué que de 25 à 24 $^9/_{23}$; et au bout d'une seconde période de 5897 ans, c'est-à-dire après la déperdition de la chaleur propre du satellite, au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Jupiter envoyoit encore à ce satellite une chaleur 37131 fois $^3/_4$ plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit encore diminué que de 24 $^9/_{23}$ à 23 $^{18}/_{23}$; ensuite, après une troisième période de 5897 ans, où la chaleur propre du satellite doit être regardée comme absolument nulle, Jupiter lui envoyoit une chaleur 36182 fois plus grande que celle du soleil.

En suivant la même marche, on trouvera que la chaleur de Jupiter, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de $^{14}/_{23}$ par chaque période de 5897 ans, diminue par conséquent sur ce satellite de 950 pendant chacune de ces périodes ; de sorte qu'après 37 $^2/_3$ périodes cette chaleur envoyée par Jupiter au satellite sera à très peu près encore 1350 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme la chaleur du soleil sur Jupiter et sur ses satellites est à peu près à celle du soleil sur la terre :: 1 : 27, et que la chaleur du globe terrestre est 50 fois plus grande que celle qu'il reçoit actuellement du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 27

cette quantité 1350 de chaleur ci-dessus, pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre : et cette dernière chaleur étant de $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il en résulte qu'au bout de 37 $^2/_3$ périodes de 5897 ans chacune, c'est-à-dire au bout de 222120 ans $^1/_3$, la chaleur que Jupiter enverra à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que, quoiqu'il ne lui restera rien alors de sa chaleur propre, il jouira néanmoins d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre dans cette année 222120 $^1/_3$ de la formation des planètes.

Et de la même manière que cette chaleur envoyée par Jupiter prolongera prodigieusement le refroidissement de ce satellite à la température actuelle de la terre, elle le prolongera de même pendant 37 autres périodes $^2/_3$, pour arriver au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre ; en sorte que ce ne sera que dans l'année 444240 de la formation des planètes que ce satellite sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation dans le temps de l'incandescence que de $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$; et qu'à la fin de la première période, qui est de 5897, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$.

et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été 2 ans $^{4}/_{15}$. Mais la chaleur envoyée par Jupiter dès le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 1443 $^{1}/_{2}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison ; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{2793^{1}/_{2}}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de 1408 à 50, parce que la chaleur envoyée par Jupiter étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1458}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{2793^{1}/_{2}}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{1458}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{106085}{676}}{4038400}$ ou $\frac{159\frac{630}{676}}{3038400}$, qui multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{1960\frac{639}{676}}{4038400}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période ; et, comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est

au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{1961^2/_3}{4038400}$ :: 5897 : $\frac{11547948\,^1/_2}{100960000}$, ou :: 5897 ans : 41 jours $^7/_{10}$. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil, au lieu d'avoir été de 2 ans 97 jours, n'a réellement été que 41 jours $^7/_{10}$.

On trouveroit de la même manière les temps du prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil pendant la seconde période et pendant les périodes suivantes; mais il est plus facile et plus court de l'évaluer en totalité de la manière suivante.

La compensation par la chaleur du soleil dans le temps de l'incandescence, ayant été, comme nous venons de le dire, $\frac{\frac{25}{676}}{2793\,^1/_2}$, sera, à la fin de 37 $^2/_3$ périodes, $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces 37 $^2/_3$ périodes que la température du satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{2793\,^1/_2}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces 37 $^2/_3$ périodes, on a $\frac{\frac{71027}{979}}{139675}$ ou $\frac{105\frac{47}{676}}{139675}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{1313\frac{245}{676}}{139675}$ ou $\frac{13}{1396}$ environ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant les 37 $^2/_3$ périodes de 5897 ans chacune; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total est au prolongement

du refroidissement, on aura 25 : $\frac{13}{1396}$ :: 222120 $^1/_2$ 50 : 82 ans $^{37}/_{50}$ environ. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil ne sera que de 82 ans $^{37}/_{50}$, qu'il faut ajouter aux 222120 ans $^1/_3$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 222203 de la formation des planètes que ce satellite jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double du temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 444406 de la formation des planètes qu'il pourra être refroidi à $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre.

Faisant le même calcul pour le second satellite, que nous avons supposé grand comme Mercure, nous verrons qu'il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 1342 ans, perdre de sa chaleur propre en 11303 ans $^1/_3$ au point de pouvoir le toucher, et se refroidir par la même déperdition de sa chaleur propre, au point de la température actuelle de la terre, en 24682 ans $^1/_3$, si sa densité étoit égale à celle de la terre : mais comme la densité du globe terrestre est à celle de Jupiter ou de ses satellites :: 1000 : 292, il s'ensuit que ce second satellite, dont le diamètre est $^1/_3$ de celui de la terre, se seroit réellement consolidé jusqu'au centre de 282 ans environ, refroidi au point de pouvoir le toucher en 3300 ans $^{17}/_{25}$, et à la température actuelle de la terre en 7283 ans $^{16}/_{25}$, si la perte de sa chaleur propre n'eût pas été compensée par la chaleur que le soleil et plus encore par celle que Jupiter ont envoyées à ce satellite. Or, l'action de la chaleur du soleil sur ce satellite étant en raison inverse du carré des distances, la compensation que cette chaleur du soleil a faite à la perte de la cha-

leur propre du satellite étoit dans le temps de l'incandescence $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période de 7283 ans $^{16}/_{25}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ de la compensation dans le premier et le dernier temps de cette période, on a $\frac{\frac{650}{676}}{1250}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{8125}{676}}{1250}$ ou $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 7283 ans $^{16}/_{25}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{12\frac{13}{676}}{25}$ :: 7283 ans $^{16}/_{25}$: 2 ans 252 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil pendant cette première période n'a été que de 2 ans 252 jours.

Mais la chaleur de Jupiter, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25, avoit diminué au bout de 7283 ans $^{16}/_{25}$ de $^{19}/_{23}$ environ, et elle étoit encore alors $24\,^4/_{23}$; et comme ce satellite n'est éloigné de Jupiter que de 9 demi-diamètres de Jupiter, ou 99 demi-diamètres terrestres, c'est-à-dire de 141817 lieues $^1/_2$, et qu'il est éloigné du soleil de 171 millions 600 mille lieues, il en résulte que la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite auroit été :: $(171600000)^2$: $(141817\,^1/_2)^2$, si la surface que présente Jupiter à

ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil. Mais la surface de Jupiter, qui, dans le réel, n'est que $\frac{121}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins plus grande à ce satellite dans la raison inverse du carré des distances; on aura donc $(141817\ {}^{1}/_{2})^{2}$: $(171600000)^{2}$ :: $\frac{121}{11449}$: $15473\ {}^{2}/_{3}$ environ. Donc la surface que Jupiter présente à ce satellite est 15473 fois $^{2}/_{3}$ plus grande que celle que lui présente le soleil. Ainsi Jupiter, dans le temps de l'incandescence, étoit pour ce satellite un astre de feu 15473 fois $^{2}/_{3}$ plus étendu que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, lorsqu'au bout de 7283 ans $^{16}/_{25}$ il se seroit refroidi à la température actuelle de la terre, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'étoit que $\frac{\frac{25}{675}}{1250}$: on aura donc $15473\ {}^{2}/_{3}$, multipliés par $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$ ou $\frac{572\frac{170}{676}}{1250}$ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Jupiter sur ce satellite dans le commencement de cette première période, et $\frac{572\frac{170}{676}}{50}$ pour la compensation qu'elle auroit faite à la fin de cette même période de 7283 ans $^{16}/_{25}$, si Jupiter eût conservé son état d'incandescence. Mais comme sa chaleur propre a diminué pendant cette période de 25 à $24\ {}^{4}/_{23}$, la compensation à la fin de la période, au lieu d'être $\frac{572\frac{170}{676}}{50}$, n'a été que de $\frac{552\ {}^{1}/_{3}}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $\frac{553\,{}^{1}/_{7}}{50}$ et

$\frac{572 \frac{170}{676}}{1250}$ de la compensation dans le premier et dans le dernier temps de cette première période, on a $\frac{14405 \frac{1}{2}}{1250}$ environ, lesquels multipliés par 12 $\frac{1}{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{180068 \frac{3}{4}}{1250}$ ou 144 $\frac{7}{25}$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Jupiter, pendant cette première periode de 7283 ans $\frac{16}{25}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 144 $\frac{7}{25}$ :: 7283 $\frac{16}{25}$: 42044 $\frac{18}{125}$. Ainsi le temps dont la chaleur de Jupiter a prolongé le refroidissement de ce satellite a été de 42044 ans 52 jours, tandis que la chaleur du soleil ne l'a prolongé que de 2 ans 252 jours : d'où l'on voit, en ajoutant ces deux temps à celui de la période de 7283 ans 233 jours, que c'a été dans l'année 49331 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 25501 ans, que ce second satellite de Jupiter a pu être refroidi au point de la température actuelle de la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Jupiter a été égale à la chaleur propre de ce satellite s'est trouvé au 2 $\frac{4}{21}$. terme environ de l'écoulement du temps de cette période de 7283 ans 233 jours, qui multipliés par 291 ans 126 jours, nombre des années de chaque terme de cette période, donnent 638 ans 67 jours. Ainsi c'a été dès l'année 639 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Jupiter à son second satellite s'est trouvée égale à sa chaleur propre.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satel-

lite a toujours été au dessous de celle que lui envoyoit Jupiter dès l'année 639 de la formation des planètes; on doit donc évaluer, comme nous l'avons fait pour le premier satellite, la température dont il a joui et dont il jouira pour la suite.

Or Jupiter, ayant d'abord envoyé à ce satellite, dans le temps de l'incandescence, une chaleur 15473 fois $^{2}/_{3}$ plus grande que celle du soleil, lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 7283 ans $^{16}/_{25}$, une chaleur 14960 fois $^{31}/_{50}$ plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit encore diminué que de 24 à 23 $^{4}/_{23}$; et au bout d'une seconde période de 7283 ans $^{16}/_{25}$, c'est-à-dire après la déperdition de la chaleur propre du satellite, jusqu'au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Jupiter envoyoit encore à ce satellite une chaleur 14447 fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit encore diminué que de 24 $^{4}/_{23}$ à 23 $^{8}/_{23}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Jupiter, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de $^{19}/_{23}$ par chaque période de 7283 ans $^{16}/_{25}$, diminue par conséquent sur ce satellite de 513 à peu près pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 26 $^{1}/_{2}$ périodes environ cette chaleur envoyée par Jupiter au satellite sera à très peu près encore 1350 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme la chaleur du soleil sur Jupiter et sur ses satellites, est à celle du soleil sur la terre à peu près :: 1 : 27, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit actuellement du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 27 cette quan-

tité 1350, pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il en résulte qu'au bout de 26 $^1/_2$ périodes de 7283 ans $^{16}/_{25}$ chacune, c'est-à-dire au bout de 193016 ans $^{11}/_{25}$, la chaleur que Jupiter enverra à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que, n'ayant plus de chaleur propre, il jouira néanmoins d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre dans l'année 193017 de la formation des planètes.

Et de même que cette chaleur envoyée par Jupiter prolongera de beaucoup le refroidissement de ce satellite au point de la température actuelle de la terre, elle le prolongera de même pendant 26 autres périodes $^1/_2$ pour arriver au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 386034 de la formation des planètes que ce satellite sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil relativement à la compensation qu'elle a faite et fera à la diminution de la température du satellite.

Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{25}{676}}{2250}$, et qu'à la fin de la première période de 7283 ans $^{16}/_{25}$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit été de 2 ans $^2/_3$. Mais la

chaleur envoyée par Jupiter dès le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: $572\frac{470}{676}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison, en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{25}{679}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1822\frac{470}{676}}$ au commencement de cette période; et, de même, que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période, en ne considérant que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la même raison de $553\,^1/_3$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Jupiter étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{603\,^1/_3}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1822\frac{470}{676}}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{603\,^1/_3}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{60639\,^1/_2}{676}}{1098625}$ ou $\frac{89\,^2/_3}{1098625}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{1120\,^5/_6}{1098625}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période, et comme la perte de la chaleur est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{1120\,^5/_6}{1098625}$

$:: 7283 \, {}^{16}/_{25} : \frac{8163745 \, {}^{29}/_{30}}{27465625}$ ou $:: 7283$ ans ${}^{16}/_{25} : 108$ jours ${}^{1}/_{2}$, au lieu de 2 ans ${}^{2}/_{3}$ que nous avions trouvés par la première évaluation.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouvera que la compensation, dans le temps de l'incandescence, ayant été $\frac{\frac{25}{676}}{1822 \frac{17}{676}}$, sera, à la fin de $26 \, {}^{1}/_{2}$ périodes, de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces $26 \, {}^{1}/_{2}$ périodes que la température du satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1822 \frac{17}{676}}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces $26 \, {}^{1}/_{2}$ périodes, on a $\frac{\frac{46806 \, {}^{1}/_{4}}{676}}{91112 \, {}^{1}/_{2}}$ ou $\frac{69 \frac{41}{169}}{91112 \, {}^{1}/_{2}}$, qui multipliés par $12 \, {}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{865 \, {}^{1}/_{2}}{91112 \, {}^{1}/_{2}}$ ou $\frac{45}{4555}$ environ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant les 26 périodes ${}^{1}/_{2}$ de 7283 ans ${}^{16}/_{25}$; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total de sa période est au prolongement du temps du refroidissement, on aura $25 : \frac{43}{4555} :: 195016 \, {}^{11}/_{25} : 72 \, {}^{22}/_{25}$. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil ne sera que de 72 ans ${}^{22}/_{25}$, qu'il faut ajouter aux 195016 ans ${}^{11}/_{25}$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année

193090 de la formation des planètes que ce satellite jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double de ce temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 386180 de la formation des planètes qu'il pourra être refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Faisant les mêmes raisonnements pour le troisième satellite de Jupiter, que nous avons supposé grand comme Mars, c'est-à-dire de $^{13}/_{25}$ du diamètre de la terre, et qui est à 14 $^1/_3$ demi-diamètres de Jupiter, ou 157 $^1/_3$ demi-diamètres terrestres, c'est-à-dire à 225857 lieues de distance de sa planète principale, nous verrons que ce satellite se seroit consolidé jusqu'au centre en 1490 ans $^3/_5$, refroidi au point de pouvoir le toucher en 17633 ans $^{18}/_{25}$, et au point de la température actuelle de la terre en 38504 ans $^{11}/_{25}$, si la densité de ce satellite étoit égale à celle de la terre; mais comme la densité du globe terrestre est à celle de Jupiter et de ses satellites :: 1000 : 292, il faut diminuer en même raison les temps de la consolidation et du refroidissement. Ainsi ce troisième satellite se sera consolidé jusqu'au centre en 435 ans $\frac{51}{200}$, refroidi au point de pouvoir le toucher en 5149 ans $\frac{11}{200}$, et il auroit perdu assez de sa chaleur propre pour arriver au point de la température actuelle de la terre en 11243 ans $^7/_{25}$ environ, si la perte de sa chaleur propre n'eût pas été compensée par l'accession de la chaleur du soleil, et surtout par celle de la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite. Or la chaleur envoyée par le soleil étant en raison inverse du carré des distances, la compensation qu'elle faisoit à la perte de

la chaleur propre du satellite étoit dans le temps de l'incandescence $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période de 11243 ans $^{7}/_{25}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ de la compensation dans le premier et dans le dernier temps de cette première période de 11243 ans $^{7}/_{25}$, on a $\frac{\frac{650}{676}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{85}{676}}{1250}$ ou $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant le temps de cette première période ; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ :: 11243 $^{7}/_{25}$: 4 $^{1}/_{3}$ environ. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil pendant cette première période de 11543 $^{7}/_{25}$ auroit été de 4 ans 116 jours.

Mais la chaleur de Jupiter, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25, avoit diminué, pendant cette première période, de 25 à 23 $^{5}/_{6}$ environ ; et comme ce satellite est éloigné de Jupiter de 225857 lieues, et qu'il est éloigné du soleil de 171 millions 600 mille lieues, il en résulte que la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite auroit été à la chaleur envoyée par le soleil comme le carré de 171600000 est au carré de 225857, si la surface que présente Jupiter à ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil.

Mais la surface de Jupiter, qui, dans le réel, n'est que $\frac{121}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins plus grande à ce satellite dans le rapport inverse du carré des distances; on aura donc $(225857)^2 : (171600000)^2 :: \frac{21}{11446} : 6101$ environ. Donc la surface que présente Jupiter à son troisième satellite étant 6101 fois plus grande que la surface que lui présente le soleil, Jupiter dans le temps de l'incandescence étoit pour ce satellite un astre de feu 6101 fois plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, lorsqu'au bout de 11245 ans $^7/_{25}$ il se seroit refroidi à la température actuelle de la terre, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$: il faut donc multiplier par 6101 chacun de ces deux termes de compensation, et l'on aura pour le premier $\frac{225\frac{425}{676}}{1250}$, et pour le second $\frac{225\frac{425}{676}}{50}$; et cette dernière compensation de la fin de la période seroit exacte si Jupiter eût conservé son état d'incandescence pendant tout le temps de cette même période de 11245 ans $^7/_{25}$: mais comme sa chaleur propre a diminué de 25 à 23 $^5/_6$ pendant cette période, la compensation à la fin de la période, au lieu d'être $\frac{225\frac{425}{676}}{50}$ n'a été que de $\frac{218\frac{43}{75}}{50}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{218\frac{13}{75}}{50}$ et $\frac{225\frac{425}{676}}{1250}$ de la compensation du premier et du dernier temps dans cette première période, on a $\frac{5679\frac{21}{25}}{1250}$ environ, lesquels

étant multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{70998}{1250}$ ou 56 $^{15}/_{19}$ environ pour la compensation totale qu'a faite Jupiter sur son troisième satellite pendant cette première période de 11243 ans $^7/_{25}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 26 : 56 $^{15}/_{19}$ :: 11243 $^7/_{25}$: 25540. Ainsi le temps dont la chaleur de Jupiter a prolongé le refroidissement de ce satellite pendant cette première période de 11243 ans $^7/_{25}$ a été de 25540 ans; et par conséquent, en y ajoutant le prolongement par la chaleur du soleil, qui est de 4 ans 116 jours, on a 25544 ans 116 jours pour le prolongement total du refroidissement; ce qui, étant ajouté au temps de la période, donne 36787 ans 218 jours : d'où l'on voit que c'a été dans l'année 36588 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 38244 ans, que ce satellite jouissoit de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite étoit égale à sa chaleur propre s'est trouvé au 5 $\frac{365}{607}$, terme de l'écoulement du temps de cette première période de 11243 ans $^7/_{25}$, qui étant multiplié par 449 ans $^3/_4$, nombre des années de chaque terme de cette période, donne 2490 ans environ. Ainsi c'a été dès l'année 2490 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Jupiter à son troisième satellite s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce satellite.

Dès lors on voit que cette chaleur propre du satellite a été au dessous de celle que lui envoyoit Jupiter

dès l'année 2490 de la formation des planètes; et en évaluant, comme nous avons fait pour les deux premiers satellites, la température dont celui-ci doit jouir, on trouve que Jupiter ayant envoyé à ce satellite, dans le temps de l'incandescence, une chaleur 6101 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 11243 ans $^{7}/_{25}$, une chaleur 5816 $\frac{43}{150}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit diminué que de 25 à 23 $^{5}/_{6}$; et au bout d'une seconde période de 11243 ans $^{7}/_{25}$, c'est-à-dire après la déperdition de la chaleur propre du satellite, jusqu'au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Jupiter envoyoit encore à ce satellite une chaleur 5531 $\frac{86}{150}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit encore diminué que de 23 $^{5}/_{6}$ à 22 $^{4}/_{6}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Jupiter, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de $^{7}/_{6}$ par chaque période de 11243 ans $^{7}/_{25}$, diminue par conséquent sur ce satellite de 284 $\frac{407}{150}$ pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 15 $^{2}/_{3}$ périodes environ, cette chaleur envoyée par Jupiter au satellite sera à très peu près encore 1350 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme la chaleur du soleil sur Jupiter et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre à peu près :: 1 : 27, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit actuellement du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 27 cette quantité 1350 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^{1}/_{50}$

de la chaleur actuelle du globe terrestre, il en résulte qu'au bout de 15 $^{2}/_{3}$ périodes, chacune de 11243 $^{7}/_{25}$, c'est-à-dire au bout de 176144 $^{11}/_{15}$, la chaleur que Jupiter enverra à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que, n'ayant plus de chaleur propre, il jouira néanmoins d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre dans l'année 176145 de la formation des planètes.

Et comme cette chaleur envoyée par Jupiter prolongera de beaucoup le refroidissement de ce satellite au point de la température actuelle de la terre, elle le prolongera de même pendant 15 $^{2}/_{3}$ autres périodes, pour arriver au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 352290 de la formation des planètes que ce satellite sera refroidi à $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période, qui est de 11243 ans $^{7}/_{25}$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 4 ans $^{1}/_{3}$: mais la chaleur envoyée par Jupiter dès le temps de l'incan-

descence étant à la chaleur propre du satellite :: $225 \frac{425}{676}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ elle n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1475 \, ^{2}/_{3}}$ au commencement de cette période, et que cette compensation qui auroit été $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de $218 \, ^{13}/_{75}$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Jupiter étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{268 \, ^{13}/_{75}}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1475 \, ^{2}/_{3}}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{268 \, ^{18}/_{75}}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{43596}{676}}{395734 \, ^{4}/_{9}}$ ou $\frac{65 \, ^{1}/_{2}}{395734 \, ^{4}/_{9}}$, qui multipliés par $12 \, ^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{806 \, ^{1}/_{4}}{395734 \, ^{4}/_{9}}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période; et, comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroi-

dissement, on aura $25 : \frac{806\,^1/_4}{395734\,^4/_9} :: 11243\,^7/_{25} : \frac{9064669\,^1/_3}{9893351}$, ou $:: 11243$ ans $^7/_{25} : 334$ jours environ, au lieu de 4 ans $^1/_2$ que nous avions trouvés par la première évaluation.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouvera que la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil, dans le temps de l'incandescence, ayant été $\frac{\frac{25}{676}}{1475\,^2/_3}$, sera, à la fin de 15 périodes $^2/_3$, de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces 15 périodes $^2/_3$ que la température du satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1475\,^2/_3}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces 15 périodes $^2/_3$, on a $\frac{\frac{38141\,^1/_3}{676}}{73782\,^2/_3}$ ou $\frac{56\,^3/_7}{73782\,^2/_3}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{705\,^{17}/_{98}}{73782\,^2/_3}$ ou $\frac{35}{3689}$ environ pour la compensation totale par la chaleur du soleil pendant les 15 périodes $^2/_3$ de 11243 ans $^7/_{25}$ chacune; et, comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{35}{3689} :: 176144\,^{11}/_{15} : 66\,^{21}/_{25}$. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil ne sera que de 66 ans $^{21}/_{25}$, qu'il faut ajouter aux 176144 ans $^{11}/_{15}$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 176212 de la

formation des planètes que ce satellite jouira en effet de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double de ce temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 352424 de la formation des planètes que sa température sera 25 fois plus froide que la température actuelle de la terre.

Faisant le même calcul sur le quatrième satellite de Jupiter, que nous avons supposé grand comme la terre, nous verrons qu'il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 2905 ans, se refroidir au point de pouvoir le toucher en 33911 ans, et perdre assez de sa chaleur propre pour arriver au point de la température actuelle de la terre en 74047 ans, si sa densité étoit la même que celle du globe terrestre : mais comme la densité de Jupiter et de ses satellites est à celle de la terre :: 292 : 1000, les temps de la consolidation et du refroidissement par la déperdition de la chaleur propre doivent être diminués dans la même raison. Ainsi ce satellite ne s'est consolidé jusqu'au centre qu'en 848 ans $^1/_4$, refroidi au point de pouvoir le toucher en 9902 ans; et enfin il auroit perdu assez de sa chaleur propre pour arriver au point de la température actuelle de la terre en 21621 ans, si la perte de sa chaleur propre n'eût pas été compensée par la chaleur envoyée par le soleil et par Jupiter. Or la chaleur envoyée par le soleil à ce satellite étant en raison inverse du carré des distances, la compensation produite par cette chaleur étoit, dans le temps de l'incandescence, $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période de 21621 ans. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$

et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ de la compensation du premier et du dernier temps de cette période, on a $\frac{\frac{650}{676}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{8125}{676}}{1250}$ ou $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 21621 ans; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{12\frac{13}{676}}{1250}$ :: 21621 : 8 $^3/_{10}$. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil a été de 8 ans $^3/_{10}$ pour cette première période.

Mais la chaleur de Jupiter, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25 fois plus grande que la chaleur actuelle de la terre, avoit diminué, au bout des 21621 ans, de 25 à 22 $^3/_4$; et comme ce satellite est éloigné de Jupiter de 277 $^3/_4$ demi-diamètres terrestres, ou de 397877 lieues, tandis qu'il est éloigné du soleil de 171600000 lieues, il en résulte que la chaleur envoyée par Jupiter à ce satellite auroit été à la chaleur envoyée par le soleil comme le carré de 171600000 est au carré de 397877, si la surface que Jupiter présente à son quatrième satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil. Mais la surface de Jupiter, qui, dans le réel, n'est que $\frac{121}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à ce satellite bien plus grande que celle de cet astre dans le rapport inverse du carré des distances; on aura donc $(397877)^2$:

$(171600000)^2 :: \frac{121}{11449}$: 1909 environ. Ainsi Jupiter, dans le temps de l'incandescence, étoit pour son quatrième satellite un astre de feu 1909 fois plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre du satellite étoit $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, lorsqu'au bout de 21621 ans il se seroit refroidi à la température actuelle de la terre, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, qui multipliés par 1909 donnent $\frac{70\frac{405}{676}}{1250}$ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Jupiter au commencement de cette période, c'est-à-dire dans le temps de l'incandescence, et par conséquent $\frac{70\frac{405}{676}}{50}$ pour la compensation que la chaleur de Jupiter auroit faite à la fin de cette première période, s'il eût conservé son état d'incandescence; mais, sa chaleur propre ayant diminué pendant cette première période de 25 à 22 $^3/_4$, la compensation, au lieu d'être $\frac{70\frac{405}{676}}{50}$, n'a été que $^{64}/_{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $^{64}/_{50}$ et $\frac{70\frac{405}{676}}{1250}$ de la compensation dans le premier et dans le dernier temps de cette période, on a $\frac{1671}{1250}$ environ, lesquels multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{20887\,^1/_2}{125}$ ou 16 $^3/_4$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur envoyée par Jupiter à la perte de la chaleur propre de son quatrième satellite; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensa-

tion totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : 16 $^3/_4$ :: 21621 : 14486 $\frac{7}{100}$. Ainsi le temps dont la chaleur de Jupiter a prolongé le refroidissement de ce satellite pendant cette première période de 21621 ans étant de 14486 ans $\frac{7}{100}$, et la chaleur du soleil l'ayant aussi prolongé de 8 ans $^3/_{10}$ pendant la même période, on trouve, en ajoutant ces deux nombres d'années aux 21621 ans de la période, que c'a été dans l'année 36116 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 38716 ans, que ce quatrième satellite de Jupiter jouissoit de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Jupiter à son quatrième satellite a été égale à la chaleur propre de ce satellite s'est trouvée au 17 $^2/_3$, terme environ de l'écoulement du temps de cette première période, qui multiplié par 864 $^{21}/_{25}$, nombre des années de chaque terme de cette période de 21621 ans, donne 15278 $^{21}/_{25}$. Ainsi c'a été dans l'année 15279 de la formation des planètes, que la chaleur envoyée par Jupiter à son quatrième satellite s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce même satellite.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite a été au dessous de celle que lui envoyoit Jupiter dans l'année 15279 de la formation des planètes, et que Jupiter ayant envoyé à ce satellite, dans le temps de l'incandescence, une chaleur 1909 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 21621 ans, une chaleur 1737 $\frac{19}{100}$ fois plus grande que celle du soleil, parce

que la chaleur propre de Jupiter n'a diminué pendant ce temps que de 25 à 22 $^{3}/_{4}$; et au bout d'une seconde période de 21621 ans, c'est-à-dire après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite jusqu'au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Jupiter envoyoit encore à ce satellite une chaleur 1567 $\frac{49}{100}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Jupiter n'avoit encore diminué que de 22 $^{3}/_{4}$ à 20 $^{1}/_{4}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Jupiter, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de 2 $^{1}/_{4}$ par chaque période de 21621 ans, diminue par conséquent sur ce satellite de 171 $\frac{81}{100}$ pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 3 périodes $^{1}/_{4}$ environ, cette chaleur envoyée par Jupiter au satellite sera à très peu près encore 1350 fois plus plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme la chaleur du soleil sur Jupiter et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre à peu près :: 1 : 27, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 27 cette quantité 1350 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^{1}/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe, il est évident qu'au bout de 3 périodes $^{1}/_{4}$ de 21621 ans chacune, c'est-à-dire au bout de 70268 ans $^{1}/_{4}$, la chaleur que Jupiter a envoyée à ce satellite a été égale à la chaleur actuelle de la terre, et que, n'ayant plus de chaleur propre, il n'a pas laissé de jouir d'une température égale à celle dont jouit actuellement la terre dans l'année

70269 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 4565 ans.

Et comme cette chaleur envoyée par Jupiter a prolongé le refroidissement de ce satellite au point de la température actuelle de la terre, elle le prolongera de même pendant 5 $^1/_4$ autres périodes pour arriver au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 140538 de la formation des planètes que ce satellite sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période de 21621 ans cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 8 ans $^3/_{10}$: mais la chaleur envoyée par Jupiter dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 70 $\frac{405}{676}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{1320\frac{405}{676}}$ au com-

mencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la même raison de 64 à 50, parce que la chaleur envoyée par Jupiter étoit encore plus grande que la chaleur propre de ce satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{25}{676}}{114}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1320\frac{405}{676}}$ à $\frac{\frac{25}{676}}{114}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{35865}{676}}{150548\,{}^{3}/_{10}}$ ou $\frac{53\frac{37}{676}}{150548\,{}^{3}/_{10}}$ environ, qui multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{763\,{}^{1}/_{6}}{150548\,{}^{3}/_{10}}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{763\,{}^{1}/_{6}}{150548\,{}^{3}/_{10}}$ :: 21621 ans : 4 ans 140 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil, au lieu d'avoir été de 8 ans $^{3}/_{10}$, n'a été que de 4 ans 140 jours.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a

faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouvera que la compensation, dans le temps de l'incandescence, ayant été de $\frac{\frac{25}{576}}{1520\,{}^2/_3}$, sera, à la fin de $3\,{}^1/_4$ périodes, de $\frac{\frac{25}{676}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces $3\,{}^1/_4$ périodes que la température de ce satellite sera égale à la température de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{25}{676}}{1520\,{}^2/_3}$ et $\frac{\frac{25}{676}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces $3\,{}^1/_4$ périodes, on a $\frac{\frac{34261}{676}}{66032}$ ou $\frac{50\,{}^5/_6}{66032}$, qui multipliés par $12\,{}^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{635}{66032}$ pour la compensation totale, par la chaleur du soleil, pendant les $3\,{}^1/_4$ périodes de 21621 ans chacune; et, comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total des périodes est à celui du prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{635}{66032} :: 70268\,{}^1/_4 : 27$. Ainsi le prolongement total qu'a fait la chaleur du soleil n'a été que de 27 ans, qu'il faut ajouter aux 70268 ans ${}^1/_4$. D'où l'on voit que c'a été dans l'année 70296 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 4536 ans, que ce quatrième satellite de Jupiter jouissoit de la même température dont jouit aujourd'hui la terre; et, de même, que ce ne sera que dans le double du temps, c'est-à-dire dans l'année 140592 de la formation des planètes, que sa température sera refroidie au point extrême de ${}^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Faisons maintenant les mêmes recherches sur les temps respectifs du refroidissement des satellites de Saturne, et du refroidissement de son anneau. Ces satellites sont, à la vérité, si difficiles à voir, que leurs grandeurs relatives ne sont pas bien constatées : mais leurs distances à leur planète principale sont assez bien connues, et il paroît, par les observations des meilleurs astronomes, que le satellite le plus voisin de Saturne est aussi le plus petit de tous; que le second n'est guère plus gros que le premier, le troisième un peu plus grand; que le quatrième paroît le plus grand de tous, et qu'enfin le cinquième paroît tantôt plus grand que le troisième et tantôt plus petit : mais cette variation de grandeur, dans ce dernier satellite, n'est probablement qu'une apparence dépendante de quelques causes particulières qui ne changent pas sa grandeur réelle, qu'on peut regarder comme égale à celle du quatrième, puisqu'on l'a vu quelquefois surpasser le troisième.

Nous supposerons donc que le premier et le plus petit de ces satellites est gros comme la lune, le second grand comme Mercure, le troisième grand comme Mars, le quatrième et le cinquième grands comme la terre; et, prenant les distances respectives de ces satellites à leur planète principale, nous verrons que le premier est environ à 66 mille 900 lieues de distance de Saturne; le second à 85 mille 450 lieues, ce qui est à peu près la distance de la lune à la terre; le troisième à 120 mille lieues; le quatrième à 278 mille lieues, et le cinquième à 808 mille lieues, tandis que le satellite le plus éloigné de Jupiter n'en est qu'à 398 mille lieues.

Saturne a donc une vitesse de rotation plus grande que celle de Jupiter, puisque, dans l'état de liquéfaction, sa force centrifuge a projeté des parties de sa masse à plus du double de la distance à laquelle la force centrifuge de Jupiter a projeté celles qui forment son satellite le plus éloigné.

Et ce qui prouve encore que cette force centrifuge, provenant de la vitesse de rotation, est plus grande dans Saturne que dans Jupiter, c'est l'anneau dont il est environné, et qui, quoique fort mince, suppose une projection de matière encore bien plus considérable que celle des cinq satellites pris ensemble. Cet anneau concentrique à la surface de l'équateur de Saturne n'en est éloigné que d'environ 55 mille lieues; sa forme est celle d'une zone assez large, un peu courbée sur le plan de sa largeur, qui est d'environ un tiers de diamètre de Saturne, c'est-à-dire de plus de 9 mille lieues : mais cette zone de 9 mille lieues de largeur n'a peut-être pas 100 lieues d'épaisseur; car, lorsque l'anneau ne nous présente exactement que sa tranche, il ne réfléchit pas assez de lumière pour qu'on puisse l'apercevoir avec les meilleures lunettes; au lieu qu'on l'aperçoit pour peu qu'il s'incline ou se redresse, et qu'il découvre en conséquence une petite partie de sa largeur. Or cette largeur, vue de face, étant de 9 mille lieues, ou plus exactement de 9 mille 110 lieues, seroit d'environ 4 mille 555 lieues vue sous l'angle de 45 degrés, et par conséquent d'environ 100 lieues vue sous un angle d'un degré d'obliquité; car on ne peut guère présumer qu'il fût possible d'apercevoir cet anneau, s'il n'avoit pas au moins un degré d'obliquité, c'est-à-dire s'il ne nous présentoit pas une tranche au

moins égale à une 90e partie de sa largeur : d'où je conclus que son épaisseur doit être égale à cette 90e partie qui équivaut à peu près à 100 lieues.

Il est bon de supputer, avant d'aller plus loin, toutes les dimensions de cet anneau, et de voir quelle est la surface et le volume de la matière qu'il contient.

Sa largeur est de 9,110 lieues.
Son épaisseur supposée de 100 lieues.
Son diamètre intérieur de 191,296 lieues.
Son diamètre extérieur, c'est-à-dire y compris les épaisseurs, de 191,496 lieues.
Sa circonférence intérieure de 444,073 lieues.
Sa circonférence extérieure de 444,701 lieues.
Sa surface concave de 4,455,005,030 lieues carrées.
Sa surface convexe de 4,512,226,110 lieues carrées.
La surface de l'épaisseur en dedans, de 44,407,300 lieues carrées.
La surface de l'épaisseur en dehors, de 44,470,100 lieues carrées.
Sa surface totale de 8,185,608,540 lieues carrées.
Sa solidité de 404,836,557,000 lieues cubiques.

Ce qui fait environ trente fois autant de volume de matière qu'en contient le globe terrestre, dont la solidité n'est que de 12 milliards 365 millions 103 mille 160 lieues cubiques. Et, en comparant la surface de l'anneau à la surface de la terre, on verra que celle-ci n'étant que de 25 millions 772 mille 725 lieues carrées, celle de toutes les faces de l'anneau étant de 8 milliards 583 millions 608 mille 540 lieues, elle est par conséquent plus de 217 fois plus grande que celle de la terre; en sorte que cet anneau, qui ne paroît être qu'un volume anomal, un assemblage de matière sous une forme bizarre, peut néanmoins être une terre dont la surface est plus de 300 fois plus grande que celle de notre globe, et qui, malgré son grand éloignement

du soleil, peut cependant jouir de la même température que la terre.

Car, si l'on veut rechercher l'effet de la chaleur de Saturne et de celle du soleil sur cet anneau, et reconnoître les temps de son refroidissement par la déperdition de sa chaleur propre, comme nous l'avons fait pour la lune et pour les satellites de Jupiter, on verra que, n'ayant que 100 lieues d'épaisseur, il se seroit consolidé jusqu'au milieu ou au centre de cette épaisseur en 101 ans $^1/_2$ environ, si sa densité étoit égale à celle de la terre; mais, comme la densité de Saturne et celle de ses satellites et de son anneau, que nous supposons la même, n'est à la densité de la terre que :: 184 : 1000, il s'ensuit que l'anneau, au lieu de s'être consolidé jusqu'au centre de son épaisseur en 101 ans $^1/_2$, s'est réellement consolidé en 18 ans $^{17}/_{25}$: et de même on verra que cet anneau auroit dû se refroidir au point de pouvoir le toucher en 1183 ans $\frac{90}{140}$, si sa densité étoit égale à celle de la terre; mais, comme elle n'est que 184 au lieu de 1000, le temps du refroidissement, au lieu d'être de 1183 ans $\frac{90}{143}$, n'a été que de 217 ans $\frac{787}{1000}$, et celui du refroidissement à la température actuelle, au lieu d'être de 1958 ans, n'a réellement été que de 360 ans $^7/_{25}$, abstraction faite de toute compensation, tant par la chaleur du soleil que par celle de Saturne, dont il faut faire l'évaluation.

Pour trouver la compensation par la chaleur du soleil, nous considérerons que cette chaleur du soleil sur Saturne, sur ses satellites, et sur son anneau, est à très peu près égale, parce que tous sont à très peu près également éloignés de cet astre : or cette chaleur du

soleil que reçoit Saturne est à celle que reçoit la terre :: 100 : 9025, ou :: 4 : 361. Dès lors la compensation qu'a faite la chaleur du soleil lorsque l'anneau a été refroidi à la température actuelle de la terre, au lieu d'être $^1/_{50}$, comme sur la terre, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{50}$; et dans le temps de l'incandescence, cette compensation n'étoit que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$. Ajoutant ces deux termes du premier et du dernier temps de cette période de 360 ans $^7/_{25}$, on aura $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{47}{361}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil dans les 360 ans $^7/_{25}$ de la première période; et, comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps total de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ :: 360 $^7/_{25}$: $\frac{1\frac{49}{652}}{25}$ ans ou 15 jours environ, dont le refroidissement de l'anneau a été prolongé, par la chaleur du soleil, pendant cette première période de 360 ans $^7/_{25}$.

Mais la compensation par la chaleur du soleil n'est, pour ainsi dire, rien en comparaison de celle qu'a faite la chaleur de Saturne. Cette chaleur de Saturne, dans le temps de l'incandescence, c'est-à-dire au commencement de la période, étoit 25 fois plus grande que la chaleur actuelle de la terre, et n'avoit encore

diminué au bout de 360 ans $^{7}/_{25}$ que de 25 à 24 $\frac{211}{215}$ environ. Or cet anneau est à 4 demi-diamètres de Saturne, c'est-à-dire à 54 mille 656 lieues de distance de sa planète, tandis que sa distance au soleil est de 313 millions 500 mille lieues, en supposant 33 millions de lieues pour la distance de la terre au soleil. Dès lors, Saturne, dans le temps de l'incandescence, et même long-temps après, a fait sur son anneau une compensation infiniment plus grande que la chaleur du soleil.

Pour en faire la comparaison, il faut considérer que, la chaleur croissant comme le carré de la distance diminue, la chaleur envoyée par Saturne à son anneau auroit été à la chaleur envoyée par le soleil comme le carré de 313500000 est au carré de 54656, si la surface que Saturne présente à son anneau étoit égale à la surface que lui présente le soleil; mais la surface de Saturne qui n'est dans le réel que $\frac{90\,^{1}/_{4}}{11549}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à son anneau bien plus grande que celle de cet astre dans la raison inverse du carré des distances; on aura donc $(54656)^2$: $(313500000)^2 : \frac{90\,^{1}/_{4}}{11449} : 259332$ environ; donc la surface que Saturne présente à son anneau est 259332 fois plus grande que celle que lui présente le soleil. Ainsi Saturne dans le temps de l'incandescence étoit pour son anneau un astre de feu 259332 fois plus étendu que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de l'anneau n'étoit que $\frac{4}{\frac{361}{50}}$, lorsqu'au bout de 360 ans $^{7}/_{25}$ il se seroit refroidi à la tem-

pérature actuelle de la terre, et que dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'étoit que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$; on aura donc 259332, multipliés par $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ ou $\frac{2873\frac{1}{2}}{1250}$ environ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Saturne au commencement de cette période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{2873\frac{1}{2}}{50}$ pour la compensation que Saturne auroit faite à la fin de cette même période de 360 ans $^{7}/_{25}$, s'il eût conservé son état d'incandescence ; mais comme sa chaleur propre a diminué de 25 à 24 $\frac{211}{215}$ pendant cette période de 360 ans $^{7}/_{25}$, la compensation à la fin de cette période, au lieu d'être $\frac{2873\frac{1}{2}}{50}$, n'a été que $\frac{2867\frac{1}{3}}{50}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{2867\frac{1}{3}}{50}$ et $\frac{2873\frac{1}{2}}{1250}$ du premier et du dernier temps de cette première période de 360 ans $^{7}/_{25}$, on aura $\frac{74556\frac{5}{6}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{931960\frac{5}{12}}{1250}$ ou 745 $\frac{71}{123}$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne sur son anneau pendant cette première période de 360 ans $^{7}/_{25}$; et, comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 745 $\frac{71}{125}$ :: 360 $^{7}/_{25}$: 10752 $^{13}/_{25}$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de son anneau pendant cette première période a été d'environ

10752 ans $^{13}/_{25}$, tandis que la chaleur du soleil ne l'a prolongé pendant la même période, que de 15 jours. Ajoutant ces deux nombres aux 360 ans $^{7}/_{25}$ de la période, on voit que c'est dans l'année 11113 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 63719 ans, que l'anneau de Saturne auroit pu se trouver au même degré de température dont jouit aujourd'hui la terre, si la chaleur de Saturne, surpassant toujours la chaleur propre de l'anneau, n'avoit pas continué de le brûler pendant plusieurs autres périodes de temps.

Car le moment où la chaleur envoyée par Saturne à son anneau étoit égale à la chaleur propre de cet anneau s'est trouvé dès le temps de l'incandescence, où cette chaleur envoyée par Saturne étoit plus forte que la chaleur propre de l'anneau dans le rapport de 2873 $^{1}/_{2}$ à 1250.

Dès lors on voit que la chaleur propre de l'anneau a été au dessous de celle que lui envoyoit Saturne dès le temps de l'incandescence, et que, dans ce même temps, Saturne ayant envoyé à son anneau une chaleur 259332 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 360 ans $^{7}/_{25}$, une chaleur 258608 $^{7}/_{25}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 24 $^{40}/_{43}$; et au bout d'une seconde période de 360 ans $^{7}/_{25}$, c'est-à-dire après la déperdition de la chaleur propre de l'anneau, jusqu'au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à son anneau une chaleur 257984 $^{14}/_{25}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de

Saturne n'avoit encore diminué que de $24\,^{40}/_{43}$ à $24\,^{37}/_{43}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroit constamment de $^{3}/_{43}$ par chaque période de 360 ans $^{7}/_{25}$, diminue par conséquent, sur l'anneau, de $723\,^{18}/_{25}$ pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 351 périodes environ, cette chaleur envoyée par Saturne à son anneau sera encore à très peu près 4500 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme la chaleur du soleil, tant sur Saturne que sur ses satellites et sur son anneau, est à celle du soleil sur la terre à peu près :: 1 : 90, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 90 cette quantité 4500 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et, cette dernière chaleur étant $^{1}/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il est évident qu'au bout de 351 périodes de 360 ans $^{7}/_{25}$ chacune, c'est-à-dire, au bout de 126458 ans, la chaleur que Saturne enverra encore à son anneau sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que, n'ayant plus aucune chaleur propre depuis très long-temps, cet anneau ne laissera pas de jouir encore alors d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre.

Et comme cette chaleur envoyée par Saturne aura prodigieusement prolongé le refroidissement de son anneau au point de la température actuelle de la terre, elle le prolongera de même pendant 351 autres périodes pour arriver au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre; en sorte

que ce ne sera que dans l'année 252916 de la formation des planètes que l'anneau de Saturne sera refroidi à $\frac{1}{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a dû faire à la diminution de la température de l'anneau dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre de l'anneau, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période, qui est de 360 ans $\frac{7}{25}$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 15 jours; mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre de l'anneau :: 2873 $\frac{1}{2}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ elle n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{4123\,\frac{1}{2}}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre de l'anneau, doit être diminuée dans la raison de 2867 $\frac{1}{3}$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande

que la chaleur propre de l'anneau dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{2917\,^1/_3}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{4123\,^1/_2}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{2917\,^1/_3}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{4}{361}}{12029624}$ ou $\frac{78\frac{5}{361}}{12029624}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur propre pendant cette première période de 360 ans $^7/_{25}$, donnent $\frac{975\frac{63}{361}}{12029624}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période ; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{975\frac{63}{361}}{12029624}$ :: 360 $^7/_{25}$: $\frac{351336}{300740600}$, ou :: 360 ans $^7/_{25}$: 10 heures 14 minutes. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil sur l'anneau de Saturne pendant la première période, au lieu d'avoir été de 15 jours, n'a réellement été que de 10 heures 14 minutes.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouvera que la compensation, dans le temps de l'incandescence, ayant été $\frac{\frac{4}{361}}{4123\,^1/_2}$, sera, à la fin de 351 périodes, de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces

351 périodes que la température de l'anneau sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{4125\frac{1}{2}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces 351 périodes, on a $\frac{\frac{16514}{361}}{206175}$ ou $\frac{45\frac{2}{3}}{206175}$, qui multipliés par $12\frac{1}{2}$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur pendant toutes ces périodes, donnent $\frac{571}{206175}$ environ pour la compensation totale, par la chaleur du soleil, pendant les 351 périodes de 360 ans $\frac{7}{25}$ chacune ; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{571}{206175}$ :: 126458 : 14 ans $\frac{1}{125}$. Ainsi le prolongement total qu'a fait et que fera la chaleur du soleil sur l'anneau de Saturne n'est que de 14 ans $\frac{1}{125}$, qu'il faut ajouter aux 126458 ans : d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 126473 de la formation des planètes que cet anneau jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double du temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 252946 de la formation des planètes que la température de l'anneau de Saturne sera refroidie à $\frac{1}{25}$ de la température actuelle de la terre.

Pour faire sur les satellites de Saturne la même évaluation que nous venons de faire sur le refroidissement de son anneau, nous supposerons, comme nous l'avons dit, que le premier de ces satellites, c'est-à-dire le plus voisin de Saturne, est de la grandeur de la lune ; le second, de celle de Mercure ; le troisième,

de la grandeur de Mars; le quatrième et le cinquième, de la grandeur de la terre. Cette supposition, qui ne pourroit être exacte que par un grand hasard, ne s'éloigne cependant pas assez de la vérité pour que, dans le réel, elle ne nous fournisse pas des résultats qui pourront achever de compléter nos idées sur les temps où la nature a pu naître et périr dans les différents globes qui composent l'univers solaire.

Partant donc de cette supposition, nous verrons que le premier satellite, étant grand comme la lune, a dû se consolider jusqu'au centre en 145 ans $^3/_4$ environ, parce que, n'étant que de $^3/_{11}$ du diamètre de la terre, il se seroit consolidé jusqu'au centre en 792 ans $^3/_4$, s'il étoit de même densité : mais la densité de la terre étant à celle de Saturne et de ses satellites :: 1000 : 184, il s'ensuit qu'on doit diminuer le temps de la consolidation et du refroidissement dans la même raison ; ce qui donne 145 ans $^3/_4$ pour le temps nécessaire à la consolidation. Il en est de même du temps du refroidissement au point de pouvoir toucher sans se brûler la surface de ce satellite : on trouvera, par les mêmes règles de proportion, qu'il aura perdu assez de sa chaleur propre pour arriver à ce point en 1701 ans $^{46}/_{25}$, et ensuite que, par la même déperdition de sa chaleur propre, il se seroit refroidi au point de la température actuelle de la terre en 3715 ans $\frac{87}{125}$.

Or, l'action de la chaleur du soleil étant en raison inverse du carré de la distance, la compensation que cette chaleur envoyée par le soleil a faite au commencement de cette première période, dans le temps de l'incandescence, a été $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette

même période de 3715 ans $\frac{87}{125}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ de la compensation dans le premier et dans le dernier temps de cette période, on a $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui multipliés par 12 $\frac{1}{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 3715 ans $\frac{87}{125}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ :: 3715 ans $\frac{87}{125}$: 156 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil n'a été que de 156 jours pendant cette première période.

Mais la chaleur de Saturne, qui dans le temps de l'incandescence, c'est-à-dire dans le commencement de cette première période, étoit 25, n'avoit encore diminué au bout de 3715 ans $\frac{87}{125}$ que de 25 à 24 $\frac{4}{13}$ environ; et comme ce satellite n'est éloigné de Saturne que de 66900 lieues, tandis qu'il est éloigné du soleil de 313 millions 500 mille lieues, la chaleur envoyée par Saturne à ce premier satellite auroit été à la chaleur envoyée par le soleil comme le carré de 313500000 est au carré de 66900, si la surface que Saturne présente à ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil : mais la surface de Saturne, qui n'est, dans le réel, que $\frac{90\frac{1}{4}}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à ce satellite plus grande que celle

de cet astre dans le rapport inverse du carré des distances; on aura donc $(66900)^2 : (313500000)^2 ::$ $\frac{90\,^1/_4}{11449} : 173102$ environ; donc la surface que Saturne présente à son premier satellite étant 173 mille 102 fois plus grande que celle que lui présente le soleil, Saturne, dans le temps de l'incandescence, étoit pour ce satellite un astre de feu 173102 fois plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ dans le temps de l'incandescence, et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ lorsqu'au bout de 3715 ans $^2/_3$ il se seroit refroidi à la température actuelle de la terre; on aura donc 173102 multipliés par $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ ou $\frac{1918\,^1/_5}{1250}$ environ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Saturne au commencement de cette période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{1918\,^1/_5}{50}$ pour la compensation que Saturne auroit faite à la fin de cette même période, s'il eût conservé son état d'incandescence: mais comme la chaleur propre de Saturne a diminué de 25 à 24 $^4/_{13}$ environ pendant cette période de 3715 ans $^2/_3$, la compensation à la fin de cette période, au lieu d'être $\frac{1918\,^1/_5}{50}$, n'a été que $\frac{1865}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $\frac{1865}{50}$ et $\frac{1918\,^1/_5}{1250}$ de la compensation du premier et du dernier temps de cette période, on aura $\frac{48543\,^1/_5}{1250}$, lesquels multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les ter-

mes, donnent $\frac{606790}{1250}$ ou 485 $^6/_{17}$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne sur son premier satellite pendant cette première période de 3715 ans $^2/_3$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps total de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 485 $^6/_{17}$ :: 3715 $^2/_3$: 72136 environ. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de son premier satellite pendant cette première période de 3715 $^2/_3$ a été de 72136 ans, tandis que la chaleur du soleil ne l'a prolongé pendant la même période que de 156 jours. En ajoutant ces deux termes avec celui de la période, qui est de 3715 ans environ, on voit que ce sera dans l'année 75855 de la formation des planètes, c'est-à-dire dans 1021 ans, que ce premier satellite de Saturne, pourra jouir de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite a été égale à sa chaleur propre s'est trouvé dès le premier moment de l'incandescence, ou plutôt ne s'est jamais trouvé; car, dans le temps même de l'incandescence, la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite étoit encore plus grande que la sienne propre, quoiqu'il fût lui-même en incandescence, puisque la compensation que faisoit alors la chaleur de Saturne à la chaleur propre du satellite étoit $\frac{1958\,^1/_2}{1250}$, et que, pour qu'elle n'eût été qu'égale, il auroit fallu que la température n'eût été que $\frac{1250}{1250}$.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite a été au dessous de celle que lui envoyoit Saturne

dès le moment de l'incandescence, et que, dans ce même temps, Saturne ayant envoyé à ce satellite une chaleur 173102 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 3715 ans $\frac{87}{125}$, une chaleur 168308 $^2/_5$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 24 $^4/_{13}$; et au bout d'une seconde période de 3715 ans $\frac{87}{125}$; après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite, jusqu'au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à ce satellite une chaleur 163414 $^4/_5$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit encore diminué que de 24 $^4/_{13}$ à 23 $^8/_{13}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de $^9/_{13}$ par chaque période de 3715 ans $\frac{77}{125}$, diminue par conséquent, sur ce satellite, de 4893 $^3/_5$ pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 33 $^1/_2$ périodes environ, cette chaleur envoyée par Saturne à son premier satellite sera encore à très peu près 4500 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme cette chaleur du soleil sur Saturne et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre :: 1 : 90 à très peu près, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 90 cette quantité 4500 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il est évident qu'au bout de de 33 $^1/_2$ périodes de 3715 ans $\frac{87}{125}$ cha-

cune, c'est-à-dire au bout de 124475 ans $^5/_6$, la chaleur que Saturne enverra encore à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que ce satellite, n'ayant plus aucune chaleur propre depuis très long-temps, ne laissera pas de jouir alors d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre.

Et comme cette chaleur envoyée par Saturne a prodigieusement prolongé le refroidissement de ce satellite au point de la température actuelle de la terre, il le prolongera de même pendant 33 $^1/_2$ autres périodes, pour arriver au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 248951 de la formation des planètes que ce premier satellite de Saturne sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température de ce satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période, qui est de 3715 ans $\frac{87}{125}$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit été en effet de 156 jours; mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 1918 $^1/_5$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du

soleil doit être diminuée dans la même raison, en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{3168\,^1/_5}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de la première période, si on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de 1865 à 50, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1915}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{3168\,^1/_5}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{1915}$ du premier et du dernier temps de cette première période de 3715 ans $\frac{87}{115}$, on a $\frac{\frac{20332}{361}}{6067103}$ ou $\frac{56\frac{116}{161}}{6067103}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur du satellite pendant cette première période, donnent $\frac{704\,^8/_{45}}{6067103}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{704\,^8/_{45}}{6067103} :: 3715\frac{87}{125} : \frac{261651\,^1/_2}{151677576}$, ou :: 3715 ans $\frac{87}{226}$: 6 jours 7 heures environ. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil pen-

dant cette première période, au lieu d'avoir été de 156 jours, n'a réellement été que de 6 jours 7 heures.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouvera que la compensation, dans le temps de l'incandescence, ayant été, comme nous venons de le dire, $\frac{\frac{4}{361}}{3168\,^1/_3}$, sera, à la fin de 33 $^1/_2$ périodes de 3715 ans $\frac{57}{125}$ chacune, de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces 33 $^1/_2$ périodes que la température de ce satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{3168\,^1/_3}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps des 33 $^1/_2$ périodes, on a $\frac{\frac{12873}{361}}{158410}$ ou $\frac{35\,^2/_3}{158410}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur pendant toutes ces périodes, donnent $\frac{445\,^5/_6}{158410}$ pour la compensation totale, par la chaleur du soleil, pendant les 33 $^1/_2$ périodes de 3715 ans $\frac{57}{125}$ chacune; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total des périodes est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{445\,^5/_6}{158410}$ :: 124475 ans $^5/_6$: 14 ans 4 jours environ. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil ne sera que de 14 ans 4 jours, qu'il faut ajouter aux 124475 ans $^5/_6$: d'où l'on voit que ce ne sera que sur la fin de l'année 124490

de la formation des planètes que ce satellite jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double de ce temps, c'est-à-dire 248980 ans à dater de la formation des planètes, pour que ce premier satellite de Saturne puisse être refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Faisant le même calcul pour le second satellite de Saturne, que nous avons supposé grand comme Mercure, et qui est à 85 mille 450 lieues de distance de sa planète principale, nous verrons que ce satellite a dû se consolider jusqu'au centre en 178 ans $^3/_{25}$, parce que n'étant que de $^1/_3$ du diamètre de la terre, il se seroit consolidé jusqu'au centre en 968 ans $^1/_3$, s'il étoit de même densité : mais comme la densité de la terre est à la densité de Saturne et de ses satellites :: 1000 : 184, il s'ensuit qu'on doit diminuer les temps de la consolidation et du refroidissement dans la même raison ; ce qui donne 178 ans $^3/_{25}$ pour le temps nécessaire à la consolidation. Il en est de même du temps du refroidissement au point de toucher sans se brûler la surface du satellite ; on trouvera, par les mêmes règles de proportion, qu'il s'est refroidi à ce point en 2079 ans $^{35}/_{62}$, et ensuite qu'il s'est refroidi à la température actuelle de la terre en 4541 ans $^1/_2$ environ. Or l'action de la chaleur du soleil étant en raison inverse du carré des distances, la compensation étoit au commencement de cette première période, dans le temps de l'incandescence, $\frac{\frac{4}{561}}{1250}$, et $\frac{\frac{4}{561}}{50}$ à la fin de cette même période de 4541 ans $^1/_2$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{4}{561}}{1250}$ et $\frac{\frac{4}{561}}{50}$ du premier et du

dernier temps de cette période, on a $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes donnent, $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 4541 ans $^1/_2$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ :: 4541 $^1/_2$: 191 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil auroit été de 191 jours pendant cette première période de 4441 ans $^1/_2$.

Mais la chaleur de Saturne, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25 fois plus grande que la chaleur actuelle de la terre, n'avoit diminué au bout de 4541 ans $^1/_2$ que de $^{57}/_{65}$ environ, et étoit encore 24 $^8/_{65}$ à la fin de cette même période : et ce satellite n'étant éloigné que de 85 mille 450 lieues de sa planète principale, tandis qu'il est éloigné du soleil de 313 millions 500 mille lieues, il en résulte que la chaleur envoyée par Saturne à ce second satellite auroit été comme le carré de 313500000 est au carré de 85450, si la surface que présente Saturne à ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil : mais la surface de Saturne, qui, dans le réel, n'est que $\frac{90\,^1/_4}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins plus grande à ce satellite dans le rapport inverse du carré des distances; on aura donc $(85450)^2$: $(313500000)^2$ :: $\frac{90\,^1/_4}{11449}$: 10610$4$ environ. Ainsi la sur-

face que présente Saturne à ce satellite étant 106 mille 104 fois plus grande que la surface que lui présente le soleil, Saturne, dans le temps de l'incandescence, étoit pour son second satellite un astre de feu 106 mille 104 fois plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre du satellite dans le temps de l'incandescence n'étoit que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de la période de 4541 ans $^1/_2$, lorsqu'il se seroit refroidi par la déperdition de sa chaleur propre, au point de la température actuelle de la terre, la compensation par la chaleur du soleil a été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$. Il faut donc multiplier ces deux termes de compensation par 106104, et l'on aura $\frac{1175\,^2/_3}{1250}$ environ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Saturne sur ce satellite au commencement de cette première période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{1175\,^2/_3}{50}$ pour la compensation que la chaleur de Saturne auroit faite à la fin de cette même période, s'il eût conservé son état d'incandescence : mais comme la chaleur propre de Saturne a diminué de 25 à 24 $^8/_{65}$ pendant cette période de 4541 ans $^1/_2$, la compensation à la fin de la période, au lieu d'être $\frac{1175\,^2/_3}{50}$, n'a été que $\frac{1134\,^{17}/_{40}}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{1175\,^2/_3}{1250}$ et $\frac{1134\,^{17}/_{40}}{50}$ du premier et du dernier temps de la période, on a $\frac{29586\,^{11}/_{40}}{1250}$, lesquels multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de

tous les termes, donnent $\frac{369295}{1250}$ ou 295 $^2/_9$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite pendant cette première période de 4541 ans $^1/_2$; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 295 $^2/_9$ :: 4541 $^1/_2$: 53630 environ. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de ce satellite pour cette première période a été de 53630 ans, tandis que la chaleur du soleil, pendant le même temps, ne l'a prolongé que de 191 jours : d'où l'on voit, en ajoutant ces temps à celui de la période, qui est de 4541 ans $^1/_2$, que c'a été dans l'année 58173 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 16659 ans, que ce second satellite de Saturne jouissoit de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite a été égale à sa chaleur propre s'est trouvé presque immédiatement après l'incandescence, c'est-à-dire à $\frac{74}{1775\,^2/_3}$ du premier terme de l'écoulement du temps de cette première période, qui multipliés par 181 $^{35}/_{50}$, nombre des années de chaque terme de cette période de 4541 ans $^1/_2$, donnent 7 ans $^5/_6$ environ. Ainsi c'a été dès l'année 8 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Saturne à son second satellite s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce même satellite.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite a été au dessous de celle que lui envoyoit Saturne dès le temps le plus voisin de l'incandescence,

et que, dans le premier moment de l'incandescence, Saturne ayant envoyé à ce satellite une chaleur 106 mille 104 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 4541 ans $^1/_2$, une chaleur 102 mille 382 $^1/_5$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 24 $^8/_{65}$; et au bout d'une seconde période de 4541 ans $^1/_2$, après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite, jusqu'au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à ce satellite une chaleur 98 mille 660 $^2/_5$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit encore diminué que de 24 $^6/_{65}$ à 23 $^{16}/_{65}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de $^{57}/_{65}$ par chaque période de 4541 ans $^1/_2$, diminue par conséquent sur ce satellite de 3721 $^4/_5$ pendant chacune de ces périodes; en sorte qu'après 26 $^1/_5$ périodes environ, cette chaleur envoyée par Saturne à son second satellite sera encore à peu près 4500 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme cette chaleur du soleil sur Saturne et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre :: 1 : 90 à très peu près, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 90 cette quantité 4500 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il est évident qu'au bout de 26 $^1/_3$ périodes de 4541 ans $^1/_2$,

c'est-à-dire au bout 119592 ans $^5/_6$, la chaleur que Saturne enverra encore à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que ce satellite, n'ayant plus aucune chaleur propre depuis très long-temps, ne laissera pas de jouir alors d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre

Et comme cette chaleur envoyée par Saturne a prodigieusement prolongé le refroidissement de ce satellite au point de la température de la terre, il le prolongera de même pendant 26 $^1/_3$ autres périodes pour arriver au point extrême $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 239185 de la formation des planètes que ce second satellite de Saturne sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ et qu'à la fin de la première période, qui est de 4541 ans $^1/_2$, cette même chaleur du soleil auroit fait compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 191 jours; mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 1175 $^2/_3$:

1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{2425\,^2/_3}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de $1134\,^{17}/_{40}$ à 30, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1184\,^{17}/_{40}}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{2425\,^2/_3}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{1184\,^{17}/_{40}}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{14440\,^{11}/_{30}}{361}}{2873020\,^1/_6}$ ou $\frac{1444o}{2873020\,^1/_6}$ environ, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{500}{2873020\,^1/_6}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{500}{2873020} :: 4541\,^1/_2 : \frac{227075}{4309530}$, ou

:: 4541 $\frac{1}{2}$: 19 jours environ. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil, au lieu d'être de 191 jours, n'a réellement été que de 19 jours environ.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes les périodes, on trouve que la compensation par la chaleur du soleil, dans le temps de l'incandescence, ayant été, comme nous venons de le dire, $\frac{\frac{4}{361}}{2425\frac{2}{3}}$, sera, à la fin de 26 $\frac{1}{3}$ périodes de 4541 ans $\frac{1}{2}$ chacune, de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces 26 $\frac{1}{3}$ périodes que la température du satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{2425\frac{2}{3}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces 26 $\frac{1}{3}$ périodes, on a $\frac{\frac{9902}{361}}{121282}$ ou $\frac{27\frac{135}{361}}{121282}$, qui multipliés par 12 $\frac{1}{2}$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur pendant toutes ces périodes, donnent $\frac{342\frac{313}{361}}{121282}$ pour la compensation totale, par la chaleur du soleil, pendant les 26 $\frac{1}{3}$ périodes de 4541 ans $\frac{1}{2}$ chacune; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{342\frac{313}{361}}{121282}$ :: 119592 $\frac{5}{6}$: 13 $\frac{13}{25}$ environ. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil ne sera que de 13 ans $\frac{13}{25}$, qu'il faut ajouter aux

119592 ans $^{5}/_{6}$: d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 119607 de la formation des planètes que ce satellite jouira de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double du temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 239214 de la formation des planètes que sa température sera refroidie à $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Faisant les mêmes raisonnements pour le troisième satellite de Saturne, que nous avons supposé grand comme Mars, et qui est éloigné de Saturne de 120 mille lieues, nous verrons que ce satellite auroit dû se consolider jusqu'au centre en 277 ans $^{19}/_{20}$, parce que n'étant que $^{13}/_{25}$ du diamètre de la terre, il se seroit refroidi jusqu'au centre en 1510 ans $^{3}/_{5}$, s'il étoit de même densité ; mais la densité étant à celle de ce satellite :: 1000 : 184, il s'ensuit qu'on doit diminuer le temps de sa consolidation dans la même raison ; ce qui donne 277 ans $^{19}/_{20}$ environ. Il en est de même du temps du refroidissement au point de pouvoir, sans se brûler, toucher la surface du satellite : on trouvera, par les mêmes règles de proportion, qu'il s'est refroidi à ce point en 3244 $^{20}/_{31}$, et ensuite qu'il s'est refroidi au point de la température actuelle de la terre en 7083 ans $^{11}/_{15}$ environ. Or l'action de la chaleur du soleil étant en raison inverse du carré de la distance, la compensation étoit au commencement de cette première période, dans le temps de l'incandescence, $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette même période de 7083 ans $^{11}/_{15}$. Ajoutant ces deux termes de compensation du premier et du dernier temps de

cette période, on a $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui multipliés par $12\,{}^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période de 7083 ans ${}^{11}/_{15}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{3\frac{217}{361}}{1250} ::$ 7083 ans ${}^{11}/_{15}$: 296 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil n'a été que de 296 jours pendant cette première période de 7083 ans ${}^{14}/_{15}$.

Mais la chaleur de Saturne, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25, avoit diminué, au bout de la période de 7083 ans ${}^{11}/_{15}$, de 25 à 23 ${}^{41}/_{65}$; et comme ce satellite est éloigné de Saturne de 120 mille lieues, et qu'il est distant du soleil de 313 millions 500 mille lieues, il en résulte que la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite auroit été comme le carré de 313500000 est au carré de 120000, si la surface que présente Saturne à ce satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil : mais la surface de Saturne, n'étant dans le réel, que $\frac{90\,{}^1/_4}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à ce satellite plus grande que celle de cet astre dans le rapport inverse du carré des distances; on aura dont $(120000)^2 : (313500000)^2 :: \frac{90\,{}^1/_4}{11449}$: 5380 environ. Donc la surface que Saturne présente à ce satellite est 5380 fois plus grande que

celle que lui présente le soleil. Ainsi Saturne, dans le temps de l'incandescence, étoit pour ce satellite un astre de feu 53801 fois plus grand que le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite étoit $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, lorsqu'au bout de 7083 ans $^2/_3$ il se seroit, comme Mars, refroidi à la température actuelle de la terre, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'étoit que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$; on aura donc 53801 multipliés par $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ ou $\frac{596\frac{48}{361}}{1250}$ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Saturne au commencement de cette période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{596\frac{48}{361}}{50}$ pour la compensation à la fin de cette même période, si Saturne eût conservé son état d'incandescence : mais comme sa chaleur propre a diminué de 25 à 23 $^{41}/_{65}$ environ pendant cette période de 7083 ans $^2/_3$, la compensation à la fin de cette période, au lieu d'être $\frac{596\frac{48}{361}}{50}$, n'a été que de $\frac{563\frac{1}{2}}{50}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{563\frac{1}{2}}{50}$ et $\frac{596\frac{48}{361}}{1250}$ du premier et du dernier temps de cette période, on aura $\frac{14683\frac{57}{90}}{1250}$ environ, lesquels multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{183545}{1250}$ environ ou 146 $^5/_6$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne sur ce troisième satellite pendant cette première période de 7083 ans $^{11}/_{15}$; et comme la perte totale de la cha-

leur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du prolongement du refroidissement, on aura 25 : 146 $^5/_6$ :: 7083 $^2/_3$: 41557 $^1/_2$ environ. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de son troisième satellite pendant cette période de 7083 ans $^2/_3$ a été de 41557 ans $^1/_2$, tandis que la chaleur du soleil ne l'a prolongé pendant ce même temps que de 296 jours. Ajoutant ces deux temps à celui de la période de 7083 ans $^2/_3$, on voit que ce seroit dans l'année 48643 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 26189 ans, que ce troisième satellite de Saturne auroit joui de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite a été égale à sa chaleur propre s'est trouvé au 2 $^1/_{11}$ terme environ de l'écoulement du temps de cette première période, lequel multiplié par 283 $^1/_3$, nombre des années de chaque terme de la période de 7083 $^2/_3$, donne 630 ans $^2/_3$ environ. Ainsi c'a été dès l'année 631 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Saturne à son troisième satellite s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce même satellite.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite a été au-dessous de celle que lui envoyoit Saturne dès l'année 631 de la formation des planètes, et que Saturne ayant envoyé à ce satellite une chaleur 53801 fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 7083 ans $^2/_3$, une chaleur 50854 $^9/_{25}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 23 $^{41}/_{65}$ environ; et au bout

d'une seconde période de 7083 ans $^{2}/_{3}$, après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite, jusqu'au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à ce satellite une chaleur 47907 $^{19}/_{23}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit encore diminué que de 25 $^{41}/_{65}$ à 22 $^{17}/_{65}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de 1 $^{24}/_{65}$ par chaque période de 7083 ans $^{2}/_{3}$, diminue par conséquent sur ce satellite de 2946 $^{3}/_{5}$ pendant chacune de ces périodes, en sorte qu'après 15 $^{3}/_{5}$ périodes environ, cette chaleur envoyée par Saturne à son troisième satellite sera encore 4500 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme cette chaleur du soleil sur Saturne et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre :: 1 : 90 à très peu près, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 90 cette quantité de chaleur 4500 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre ; et cette dernière chaleur étant $^{1}/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il est évident qu'au bout de 15 $^{3}/_{4}$ périodes de 7083 ans $^{2}/_{3}$, c'est-à-dire au bout de 111567 ans, la chaleur que Saturne enverra encore à ce satellite sera égale à la chaleur actuelle de la terre, et que ce satellite, n'ayant plus aucune chaleur propre depuis très longtemps, ne laissera pas de jouir alors d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre.

Et comme cette chaleur envoyée par Saturne a très considérablement prolongé le refroidissement de

ce satellite au point de la température actuelle de la terre, il le prolongera de même pendant 15 $^{3}/_{4}$ autres périodes, pour arriver au point extrême de $^{1}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre ; en sorte que ce ne sera que dans l'année 223134 de la formation des planètes que ce troisième satellite de Saturne sera refroidi à $^{1}/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation dans le temps de l'incandescence que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période, qui est de 7083 ans $^{2}/_{3}$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 296 jours. Mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 596 $\frac{48}{361}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison ; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1846\frac{48}{361}}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette période, si l'on ne considéroit que la déperdi-

tion de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de 563 $\frac{1}{2}$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande que la chaleur propre de ce satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{361\frac{1}{2}}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{1846\frac{48}{361}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{631\frac{1}{2}}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{9838}{361}}{1132602}$ ou $\frac{27\frac{1}{4}}{1132602}$, qui multipliés par 12 $\frac{1}{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{340\frac{5}{8}}{1132602}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{340\frac{5}{8}}{1132602}$ :: 7083 $\frac{2}{3}$: $\frac{2412878\frac{3}{5}}{28315050}$, ou :: 7083 $\frac{2}{3}$ ans : 31 jours environ. Ainsi le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil, au lieu d'avoir été de 296 jours, n'a réellement été que de 31 jours.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite cette chaleur du soleil pendant toutes ces périodes, on trouvera que la compensation par la chaleur du soleil, dans le temps de l'incandescence, ayant été comme nous venons de le dire, $\frac{\frac{4}{361}}{1846\frac{48}{361}}$ sera, à la fin

de 15 périodes $^3/_4$ de 7083 $^2/_3$ chacune, de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces 15 périodes $^3/_4$ que la température du satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant donc ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{1846\frac{48}{361}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces 15 périodes $^3/_4$, on a $\frac{\frac{7584\,^5/_9}{361}}{92506\,^3/_5}$ ou $\frac{21\frac{3}{324}}{92506\,^3/_5}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur pendant les 15 périodes $^3/_4$ de 7083 ans $^2/_3$ chacune, donnent $\frac{262\,^5/_8}{92506\,^3/_5}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps total des périodes est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{262\,^5/_8}{92506\,^3/_5}$ :: 111567 ans : 12 ans 254 jours. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil pendant toutes ces périodes ne sera que de 12 ans 254 jours, qu'il faut ajouter aux 111567 ans : d'où l'on voit que ce ne sera que dans l'année 111580 de la formation des planètes que ce satellite jouira réellement de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double de ce temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 223160 de la formation des planètes que sa température pourra être refroidie à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Faisant les mêmes raisonnements pour le quatrième satellite de Saturne, que nous avons supposé grand comme la terre, on verra qu'il auroit dû se consoli-

der jusqu'au centre en 534 ans $^{13}/_{25}$, parce que ce satellite étant égal au globe terrestre, il se seroit consolidé jusqu'au centre en 2905 ans, s'il étoit de même densité; mais la densité de la terre étant à celle de ce satellite :: 1000 : 184, il s'ensuit qu'on doit diminuer le temps de la consolidation dans la même raison, ce qui donne 534 ans $^{13}/_{25}$. Il en est de même du temps du refroidissement au point de toucher sans se brûler la surface du satellite : on trouvera, par les mêmes règles de proportion, qu'il s'est refroidi à ce point en 6239 $^{9}/_{16}$ ans, et ensuite qu'il s'est refroidi à la température actuelle de la terre en 13624 $^{2}/_{3}$. Or, l'action de la chaleur du soleil étant en raison inverse du carré des distances, la compensation étoit au commencement de cette première période, dans le temps de l'incandescence, $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette même période de 13624 $^{2}/_{3}$. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps de cette période, on a $\frac{\frac{104}{361}}{1250}$, qui, multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{1300}{361}}{1250}$ ou $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette période de 13624 ans $^{2}/_{3}$, et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{3\frac{217}{361}}{1250}$ :: 13624 $^{2}/_{3}$: 1 $^{14}/_{25}$ environ.

Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil n'a été que 1 an $^{14}/_{25}$ pendant cette première période 13624 ans $^{2}/_{3}$.

Mais la chaleur de Saturne, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit vingt-cinq fois plus grande que la chaleur de la température actuelle de la terre, n'avoit encore diminué, au bout de cette période de 13624 $^{2}/_{3}$, que de 25 à 22 $^{19}/_{65}$ environ; et comme ce satellite est à 278 mille lieues de distance de Saturne, et à 313 millions 500 mille lieues de distance du soleil, la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence auroit été en raison du carré de 313500000 au carré de 278000, si la surface que présente Saturne à son quatrième satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil; mais la surface de Saturne n'étant, dans le réel, que $\frac{90\,^{1}/_{4}}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins à ce satellite plus grande que celle de cet astre, dans la raison inverse du carré des distances. Ainsi l'on aura $(278000)^2 : (313500000)^2 :: \frac{90\,^{1}/_{4}}{11449} : 1002 4\,^{1}/_{2}$ environ. Donc la surface que présente Saturne à ce satellite est 10024 $^{1}/_{2}$ fois plus grande que celle que lui présente le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{4}{561}}{50}$, lorsqu'au bout de 13624 ans $^{1}/_{2}$, il se seroit refroidi comme la terre au point de la température actuelle, et que, dans le temps de l'incandescence, cette compensation par la chaleur du soleil n'a été que $\frac{\frac{4}{561}}{1250}$; on aura donc 10024 $^{1}/_{2}$ multipliés par

$\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ ou $\frac{111\frac{27}{361}}{1250}$ pour la compensation qu'a faite la chaleur de Saturne au commencement de cette période dans le temps de l'incandescence, et $\frac{111\frac{27}{361}}{50}$ pour la compensation que la chaleur de Saturne auroit faite à la fin de cette même période, s'il eût conservé son état d'incandescence; mais comme la chaleur propre de Saturne a diminué de 25 à 22 $^{49}/_{65}$ environ pendant cette période de 13524 ans $^{2}/_{3}$, la compensation à la fin de cette période, au lieu d'être $\frac{111\frac{27}{361}}{50}$ n'a été que de $\frac{99\,^{1}/_{25}}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $\frac{99\,^{1}/_{25}}{50}$ et $\frac{111\frac{27}{361}}{1250}$ de la compensation du premier et du dernier temps de cette période, on aura $\frac{2587\frac{27}{361}}{1250}$ environ, lesquels, multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{32531}{1250}$ ou 26 $^{1}/_{50}$ environ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne sur son quatrième satellite pendant cette première période de 13624 ans $^{2}/_{3}$; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : 26 $^{1}/_{50}$ :: 13624 $^{2}/_{3}$: 14180 $^{49}/_{50}$. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de ce satellite a été de 14180 ans $^{49}/_{50}$ environ pour cette première période, tandis que le prolongement de son refroidissement par la chaleur du soleil n'a été que de 1 an $^{14}/_{25}$. Ajoutant à ces deux temps celui de la période, on voit que ce seroit dans l'année 27807 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 47025 ans,

que ce quatrième satellite auroit joui de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Le moment où la chaleur envoyée par Saturne à ce quatrième satellite a été égale à sa chaleur propre s'est trouvé au 11 $^1/_4$ terme environ de cette première période, qui multiplié par 545, nombre des années de chaque terme de cette période, donne 6131 ans $^1/_2$; en sorte que c'a été dans l'année 6132 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Saturne à son quatrième satellite s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce satellite.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satellite a été au dessous de celle que lui envoyoit Saturne dans l'année 6132 de la formation des planètes, et que Saturne ayant envoyé à ce satellite une chaleur 10024 $^1/_2$ fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 13624 ans $^2/_3$, une chaleur 8938 $^{19}/_{25}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 22 $^{39}/_{65}$ pendant cette première periode de 13624 ans $^2/_3$, après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite, jusqu'au point extrême de $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à ce satellite une chaleur 7853 $^1/_{25}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit encore diminué que de 22 $^{19}/_{65}$ à 20 $^{48}/_{65}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de 2 $^{46}/_{65}$ par chaque période de 13624 ans $^2/_3$, diminue par conséquent sur son satellite de 1085 $^{18}/_{25}$ pendant chacune de ces périodes; en sorte

qu'après quatre périodes environ, cette chaleur envoyée par Saturne à son quatrième satellite sera encore 4500 fois plus grande que la chaleur qu'il reçoit du soleil.

Mais comme cette chaleur du soleil sur Saturne et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre :: 1 : 90 à très peu près, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit qu'il faut diviser par 90 cette quantité de chaleur 4500 pour avoir une chaleur égale à celle que le soleil envoie sur la terre; et cette dernière chaleur étant $^1/_{50}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre, il est évident qu'au bout de quatre périodes de 13624 ans $^2/_3$ chacune, c'est-à-dire au bout de 54498 ans $^2/_3$, la chaleur que Saturne a envoyée à son quatrième satellite étoit égale à la chaleur actuelle de la terre, et que ce satellite, n'ayant plus aucune chaleur propre depuis long-temps, n'a pas laissé de jouir alors d'une température égale à celle dont jouit aujourd'hui la terre.

Et comme cette chaleur envoyée par Saturne a considérablement prolongé le refroidissement de ce satellite au point de la température actuelle de la terre, il le prolongera de même pendant quatre autres périodes, pour arriver au point extrême de $^1/_{25}$ de la chaleur actuelle du globe terrestre; en sorte que ce ne sera que dans l'année 108997 de la formation des planètes que ce quatrième satellite de Saturne sera refroidi à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Il en est de même de l'estimation de la chaleur du soleil, relativement à la compensation qu'elle a faite à la diminution de la température du satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer

que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation dans le temps de l'incandescence que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de la première période, qui est de 13624 ans $^2/_3$, cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 1 an 204 jours; mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: 111 $\frac{27}{361}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, elle n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1361\frac{27}{361}}$ au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été $\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la raison de 99 $^1/_5$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{149\,^1/_5}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{1361\frac{27}{361}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{149\,^1/_5}$ du premier et du dernier temps

de cette première période, on a $\dfrac{\dfrac{6014\,^1/_{11}}{361}}{203072\,^4/_{11}}$ ou $\dfrac{16\frac{238}{361}}{203072\,^4/_{11}}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\dfrac{208\,^4/_{11}}{203072\,^4/_{11}}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \dfrac{203072\,^4/_{11}}{208\,^7/_{30}} :: 13624\,^2/_3 : \dfrac{2837109\,^5/_6}{5076809}$, ou :: 13624 ans $^2/_3$: 204 jours environ. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil, au lieu d'avoir été de 1 an 204 jours, n'a réellement été que de 204 jours.

Et pour évaluer en totalité la compensation qu'a faite la chaleur du soleil pendant toutes ces périodes, on trouvera que la compensation, dans le temps de l'incandescence ayant été $\dfrac{\dfrac{4}{361}}{1361\frac{27}{361}}$, sera, à la fin de quatre périodes, $\dfrac{\dfrac{4}{361}}{50}$, puisque ce n'est qu'après ces quatre périodes que la température de ce satellite sera égale à la température actuelle de la terre. Ajoutant ces deux termes $\dfrac{\dfrac{4}{361}}{1361\frac{27}{361}}$ et $\dfrac{\dfrac{4}{361}}{50}$ du premier et du dernier temps de ces quatre périodes, on a $\dfrac{\dfrac{5644\,^3/_{11}}{361}}{68053\,^4/_9}$, ou $\dfrac{15\frac{229}{361}}{68053\,^4/_9}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\dfrac{195\,^5/_6}{68053\,^4/_9}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant les quatre

périodes de 13624 ans $^2/_3$ chacune ; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation en même raison que le temps total de ces périodes est à celui du prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{195\,^5/_6}{68053\,^4/_9}$ :: 54498 ans $^2/_3$: 6 ans 87 jours. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil sur ce satellite ne sera que de 6 ans 87 jours, qu'il faut ajouter aux 54498 ans $^2/_3$: d'où l'on voit que c'a été dans l'année 54505 de la formation des planètes que ce satellite a joui de la même température dont jouit aujourd'hui la terre, et qu'il faudra le double de ce temps, c'est-à-dire que ce ne sera que dans l'année 109010 de la formation des planètes que sa température sera refroidie à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Enfin, faisant le même raisonnement pour le cinquième satellite de Saturne, que nous supposerons encore grand comme la terre, on verra qu'il auroit dû se consolider jusqu'au centre en 534 ans $^{13}/_{25}$, se refroidir au point d'en toucher la surface sans se brûler en 6239 ans $^9/_{16}$, et au point de la température actuelle de la terre en 13624 ans $^2/_3$, et l'on trouvera de même que le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil n'a été que de 1 an 204 jours pour la première période de 13624 ans $^2/_3$.

Mais la chaleur de Saturne, qui, dans le temps de l'incandescence, étoit 25 fois plus grande que la chaleur actuelle de la terre, n'avoit encore diminué, au bout de cette période de 13624 $^2/_3$, que de 25 à 22 $^{19}/_{65}$; et comme ce satellite est à 808 mille lieues de

Saturne, et à 313 millions 500 mille lieues de distance du soleil, la chaleur envoyée par Saturne, dans le temps de l'incandescence, à ce satellite, auroit été en raison du carré de 313500000 au carré de 808000, si la surface que présente Saturne à son cinquième satellite étoit égale à la surface que lui présente le soleil; mais la surface de Saturne n'étant, dans le réel, que $\frac{90\frac{1}{4}}{11449}$ de celle du soleil, paroît néanmoins plus grande à ce satellite que celle de cet astre dans la raison inverse du carré des distances. Ainsi l'on aura $(808000)^2 : (313500000)^2 :: \frac{90\frac{1}{4}}{11449} : 1185\frac{2}{3}$. Donc la surface que Saturne présente à ce satellite est $1186\frac{2}{3}$ fois plus grande que celle que lui présente le soleil. Mais nous avons vu que la compensation faite par la chaleur du soleil à la perte de la chaleur propre de ce satellite n'étoit que $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, lorsqu'au bout de 13624 ans $\frac{2}{3}$ il se seroit refroidi, comme la terre, au point de la température actuelle, et que, dans le temps de l'incandescence, la compensation par la chaleur du soleil n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$; on aura donc $1186\frac{2}{3}$, multipliés par $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$ ou $\frac{13\frac{53}{361}}{1250}$ pour la compensation dans le temps de l'incandescence, et $\frac{13\frac{53}{361}}{50}$ pour la compensation à la fin de cette première période, si Saturne eût conservé son état d'incandescence : mais comme sa chaleur propre a diminué de 25 à $23\frac{19}{65}$ pendant cette période de $13624\frac{2}{3}$, la compensation à la fin de la période, au lieu d'être $\frac{13\frac{53}{367}}{50}$, n'a été que

de $\frac{11\,^{37}/_{50}}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $\frac{11\,^{37}/_{50}}{50}$ et $\frac{13\,\frac{53}{361}}{1250}$ du premier et du dernier temps de cette période, on aura $\frac{306\,\frac{417}{722}}{1250}$, lesquels étant multipliés par 12 $^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{3832\,^{16}/_{45}}{1250}$, ou $3\,\frac{82\,^{1}/_{3}}{1250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne pendant cette première période ; et comme la perte de la chaleur propre est à la compensation en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : 3\,\frac{82\,^{1}/_{3}}{1250} :: 13624\,^{1}/_{2} : 1670\,^{43}/_{50}$. Ainsi le temps dont la chaleur de Saturne a prolongé le refroidissement de ce satellite pendant cette première période de 13624 $^{2}/_{3}$ a été de 1670 ans $^{43}/_{50}$, tandis que le prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil n'a été que de 1 an 264 jours. Ajoutant ces deux temps du prolongement du refroidissement au temps de la période, qui est de 13624 ans $^{2}/_{3}$, on aura 15297 ans 30 jours environ : d'où l'on voit que ce seroit dans l'année 15298 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 59534 ans, que ce cinquième satellite de Saturne auroit joui de la même température dont jouit aujourd'hui la terre.

Dans le commencement de la seconde période de 13624 ans $^{2}/_{3}$, la chaleur de Saturne a fait compensation de $\frac{11\,^{37}/_{50}}{50}$, et auroit fait à la fin de cette même période une compensation de $\frac{293\,^{1}/_{2}}{50}$, si Saturne eût conservé son même état de chaleur; mais comme sa

chaleur propre a diminué pendant cette seconde période de $22\,{}^{49}/_{65}$ à $20\,{}^{48}/_{65}$, cette compensation, au lieu d'être $\frac{295\,{}^{1}/_{2}}{50}$, n'est que de $\frac{273\,{}^{3}/_{89}}{50}$ environ. Ajoutant ces deux termes $\frac{11\,{}^{37}/_{50}}{50}$ et $\frac{273\,{}^{3}/_{89}}{50}$ du premier et du dernier temps de cette seconde période, on aura $\frac{284\,{}^{3}/_{4}}{50}$ à très peu près, qui multipliés par $12\,{}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{3559}{50}$ ou $71\,{}^{9}/_{50}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur de Saturne pendant cette seconde période; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : 71\,{}^{9}/_{50} :: 13624\,{}^{2}/_{5} : 38792\,\frac{49}{100}$. Ainsi le prolongement du temps pour le refroidissement de ce satellite par la chaleur de Saturne, ayant été de 1670 ans ${}^{43}/_{50}$ pour la première période, a été de 38792 ans $\frac{49}{100}$ pour la seconde.

Le moment où la chaleur envoyée par Saturne s'est trouvée égale à la chaleur propre de ce satellite est au $4\,{}^{15}/_{58}$ terme à très peu près de l'écoulement du temps dans cette seconde période, qui, multipliés par 545, nombre des années de chaque terme de ces périodes, donne 2320 ans 336 jours, lesquels étant ajoutés aux 243 jours de la première période donnent 15945 ans 224 jours. Ainsi c'a été dans l'année 15945 de la formation des planètes que la chaleur envoyée par Saturne à ce satellite s'est trouvée égale à sa chaleur propre.

Dès lors on voit que la chaleur propre de ce satel-

lite a été au dessous de celle que lui envoyoit Saturne dans l'année 15946 de la formation des planètes, et que Saturne ayant envoyé à ce satellite, dans le temps de l'incandescence, une chaleur 1186 $^2/_3$ fois plus grande que celle du soleil, il lui envoyoit encore, à la fin de la première période de 13624 ans $^2/_3$, une chaleur 1058 $^{21}/_{75}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur de Saturne n'avoit diminué que de 25 à 22 $^{19}/_{65}$ pendant cette première période; et au bout d'une seconde période de 13624 ans $^2/_3$, après la déperdition de la chaleur propre de ce satellite, jusqu'à $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre, Saturne envoyoit encore à ce satellite une chaleur de 929 $^{13}/_{15}$ fois plus grande que celle du soleil, parce que la chaleur propre de Saturne n'avoit encore diminué que de 22 $^{19}/_{65}$ à 20 $^{48}/_{65}$.

En suivant la même marche, on voit que la chaleur de Saturne, qui d'abord étoit 25, et qui décroît constamment de 2 $^{46}/_{65}$ par chaque période de 13624 ans $^2/_3$, diminue par conséquent sur ce satellite de 128 $^{29}/_{75}$ pendant chacune de ces périodes.

Mais comme cette chaleur du soleil sur Saturne et sur ses satellites est à celle du soleil sur la terre :: 1 : 90, à très peu près, et que la chaleur de la terre est 50 fois plus grande que celle qu'elle reçoit du soleil, il s'ensuit que jamais Saturne n'a envoyé à ce satellite une chaleur égale à celle du globe de la terre, puisque, dans le temps même de l'incandescence, cette chaleur, envoyée par Saturne, n'étoit que 1186 $^2/_3$ fois plus grande que celle du soleil sur Saturne, c'est-à-dire $\frac{1186\ ^2/_3}{90}$ ou 13 $^{17}/_{90}$ fois plus grande que

celle de la chaleur du soleil sur la terre, ce qui ne fait que $\frac{13\,{}^{17}/_{90}}{50}$ de la chaleur actuelle du globe de la terre; et c'est par cette raison qu'on doit s'en tenir à l'évaluation telle que nous l'avons faite ci-dessus dans la première et la seconde période du refroidissement de ce satellite.

Mais l'évaluation de la compensation faite par la chaleur du soleil doit être faite comme celle des autres satellites, parce qu'elle dépend encore beaucoup de celle que la chaleur de Saturne a faite sur ce même satellite dans les différents temps. Il est certain qu'à ne considérer que la déperdition de la chaleur propre du satellite, cette chaleur du soleil n'auroit fait compensation, dans le temps de l'incandescence, que de $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, et qu'à la fin de cette même période de 13624 ans $^2/_3$ cette même chaleur du soleil auroit fait une compensation de $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, et que dès lors le prolongement du refroidissement par l'accession de cette chaleur du soleil auroit en effet été de 1 an 204 jours : mais la chaleur envoyée par Saturne dans le temps de l'incandescence étant à la chaleur propre du satellite :: $13\frac{53}{361}$: 1250, il s'ensuit que la compensation faite par la chaleur du soleil doit être diminuée dans la même raison; en sorte qu'au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{1250}$, elle n'a été que de $\frac{\frac{4}{361}}{1262\frac{53}{361}}$, au commencement de cette période, et que cette compensation, qui auroit été

$\frac{\frac{4}{361}}{50}$ à la fin de cette première période, si l'on ne considéroit que la déperdition de la chaleur propre du satellite, doit être diminuée dans la même raison de $11\ {}^{37}/_{50}$ à 50, parce que la chaleur envoyée par Saturne étoit encore plus grande que la chaleur propre du satellite dans cette même raison. Dès lors la compensation, à la fin de cette première période, au lieu d'être $\frac{\frac{4}{361}}{50}$, n'a été que $\frac{\frac{4}{361}}{61\ {}^{57}/_{50}}$. En ajoutant ces deux termes de compensation $\frac{\frac{4}{361}}{1363\frac{53}{361}}$ et $\frac{\frac{4}{361}}{61\ {}^{37}/_{50}}$ du premier et du dernier temps de cette première période, on a $\frac{\frac{5299\ {}^{6}/_{11}}{361}}{77987}$ ou $\frac{14\ {}^{2}/_{3}}{77987}$, qui multipliés par $12\ {}^{1}/_{2}$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{133\ {}^{1}/_{3}}{77987}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant cette première période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura $25 : \frac{183\ {}^{1}/_{3}}{77987} :: 13624\ {}^{2}/_{3} : 1$ an 186 jours. Ainsi le prolongement du refroidissement de ce satellite par la chaleur du soleil, au lieu d'avoir été de 1 an 204 jours, n'a réellement été que de 1 an 186 jours pendant la première période.

Dans la seconde période la compensation, étant au commencement $\frac{\frac{4}{361}}{61\ {}^{37}/_{50}}$, sera à la fin de cette même

période $\frac{\frac{100}{361}}{60\,^1/_3}$, parce que la chaleur envoyée par Saturne pendant cette seconde période a diminué dans cette même raison. Ajoutant ces deux termes $\frac{\frac{4}{361}}{61\,^{37}/_{50}}$ et $\frac{\frac{100}{361}}{60\,^1/_3}$, on a $\frac{\frac{6415\,^2/_3}{361}}{3715}$, qui multipliés par $12\,^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes, donnent $\frac{\frac{80196}{361}}{3715}$ ou $\frac{222\frac{3}{361}}{3715}$ pour la compensation totale qu'a pu faire la chaleur du soleil pendant cette seconde période; et comme la diminution totale de la chaleur est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est au prolongement du refroidissement, on aura 25 : $\frac{222\frac{54}{361}}{3715}$ :: 13624 $^2/_3$: 32 ans 214 jours. Ainsi le prolongement total que fera la chaleur du soleil sera de 32 ans 214 jours pendant cette seconde période. Ajoutant donc ces deux temps, 1 an 186 jours et 32 ans 214 jours du prolongement du refroidissement par la chaleur du soleil pendant la première et la seconde période, aux 1670 ans 313 jours du prolongement par la chaleur de Saturne pendant la première période, et aux 38792 ans 69 jours du prolongement par cette même chaleur de Saturne pour la seconde période, on a pour le prolongement total 40497 ans 52 jours, qui étant joints aux 27249 ans 121 jours des deux périodes font en tout 67746 ans 175 jours : d'où l'on voit que c'a été dans l'année 67747 de la formation des planètes, c'est-à-dire il y a 7085 ans, que ce cin-

quième satellite de Saturne a été refroidi au point de $^1/_{25}$ de la température actuelle de la terre.

Voici donc, d'après nos hypothèses, l'ordre dans lequel la terre, les planètes, et leurs satellites, se sont refroidis ou se refroidiront au point de la chaleur actuelle du globe terrestre, et ensuite au point d'une chaleur vingt-cinq fois plus petite que cette chaleur actuelle de la terre.

REFROIDIES A LA TEMPÉRATURE ACTUELLE.			REFROIDIES à $\frac{1}{25}$ de la température ACTUELLE.
La Terre.		en 74832 ans.	En. . . 618123 ans.
La Lune.		en 16409	En. . . 72514
Mercure.		en 54192	En. . . 187765
Vénus.		en 91643	En. . . 228540
Mars.		en 28538	En. . . 60326
Jupiter.		en 240451	En. . . 483121
Satellites de Jupiter.	Le 1er.	en 222203	En. . . 444406
	Le 2e.	en 193090	En. . . 386180
	Le 3e.	en 176212	En. . . 352424
	Le 4e.	en 70296	En. . . 140542
Saturne.		en 130821	En. . . 262020
Anneau de Saturne.		en 126473	En. . . 252496
Satellites de Saturne.	Le 1er.	en 124490	En. . . 248980
	Le 2e.	en 119607	En. . . 239214
	Le 3e.	en 111580	En. . . 223160
	Le 4e.	en 54505	En. . . 109010
	Le 5e.	en 15298	En. . . 67747

Et à l'égard de la consolidation de la terre, des planètes, et de leurs satellites, et de leur refroidissement respectif, jusqu'au moment où leur chaleur propre auroit permis de les toucher sans se brûler, c'est-à-dire, sans ressentir de la douleur, nous avons trouvé qu'abstraction faite de toute compensation, et ne faisant attention qu'à la déperdition de leur chaleur propre, les rapports de leur consolidation jus-

qu'au centre, et de leur refroidissement au point de pouvoir les toucher sans se brûler, sont dans l'ordre suivant.

		CONSOLIDÉES JUSQU'AU CENTRE.	REFROIDIES à pouvoir LES TOUCHER.
		ans.	ans.
LA TERRE.		en 2905	En. . . . 33911
LA LUNE.		en 556	En. . . . 6492
MERCURE.		en 1976 $\frac{3}{10}$	En. . . . 23054
VÉNUS.		en 3484 $\frac{22}{25}$	En. . . . 40674
MARS.		en 1102 $\frac{18}{25}$	En. . . . 12873
JUPITER.		en 9331	En. . . . 108922
SATELLITES DE JUPITER.	Le 1[er].	en 231 $\frac{43}{125}$	En. . . . 2690 $\frac{2}{5}$
	Le 2[e].	en 282 $\frac{733}{1000}$	En. . . . 3300 $\frac{67}{100}$
	Le 3[e].	en 435 $\frac{51}{200}$	En. . . . 5149 $\frac{11}{200}$
	Le 4[e].	en 848 $\frac{1}{4}$	En. . . . 9902
SATURNE.		en 5078	En. . . . 59276
ANNEAU DE SATURNE.		en 18 $\frac{17}{25}$	En. . . . 217 $\frac{787}{1000}$
SATELLITES DE SATURNE.	Le 1[er].	en 145 $\frac{3}{4}$	En. . . . 1701 $\frac{70}{405}$
	Le 2[e].	en 178 $\frac{3}{25}$	En. . . . 2079 $\frac{35}{62}$
	Le 3[e].	en 277 $\frac{19}{25}$	En. . . . 3244 $\frac{20}{31}$
	Le 4[e].	en 534 $\frac{3}{25}$	En. . . . 6239 $\frac{9}{16}$
	Le 5[e].	en 534 $\frac{13}{25}$	En. . . . 6239 $\frac{9}{16}$

Ces rapports, quoique moins précis que ceux du refroidissement à la température actuelle, le sont néanmoins assez pour notre objet, et c'est par cette raison que je n'ai pas cru devoir prendre la même peine pour faire l'évaluation de toutes les compensations que la chaleur du soleil, aussi bien que celle de la lune, et celle des satellites de Jupiter et de Saturne, on pu faire à la perte de la chaleur propre de chaque planète, pour le temps nécessaire à leur consolidation jusqu'au centre. Comme ces temps ont précédé celui de l'établissement de la nature vivante, et que les prolongements produits par les compensations

dont nous venons de parler ne sont pas d'un très grand nombre d'années, cela devient indifférent aux vues que je me propose, et je me contenterai d'établir, par une simple règle de proportion, les rapports de ces prolongements pour les temps nécessaires à la consolidation des planètes, et à leur refroidissement jusqu'au point de pouvoir les toucher : par exemple, on trouvera le temps de la consolidation de la terre jusqu'au centre en disant : La période de 74047 ans du temps nécessaire pour son refroidissement à la température actuelle (abstraction faite de toute compensation) *est à la période* de 2905, temps nécessaire à la consolidation jusqu'au centre (abstraction faite aussi de toute compensation), *comme la période* 74832 de son refroidissement à la température actuelle, toute compensation évaluée, *est à* 2936 ans, temps réel de sa consolidation, toute compensation aussi comprise : et de même on dira : La période de 74047 du temps nécessaire pour le refroidissement de la terre à la température actuelle (abstraction faite de toute compensation) *est à la période* de 33911 ans, temps nécessaire à son refroidissement au point de pouvoir la toucher (abstraction faite aussi de toute compensation), *comme la période* 74832 de son refroidissement à la température actuelle toute compensation évaluée, *est à* 34270 ans $^1/_2$, temps réel de son refroidissement jusqu'au point de pouvoir la toucher, toute compensation évaluée.

On aura donc, dans la table suivante, l'ordre de ces rapports, que je joins à ceux indiqués ci-devant, pour le refroidissement à la température actuelle, et à $^1/_{25}$ de cette température.

CONSOLIDÉES jusqu'au CENTRE.	REFROIDIES à pouvoir LES TOUCHER.	REFROIDIES à la température ACTUELLE.	REFROIDIES à $\frac{1}{25}$ de la température ACTUELLE.
ans.	ans.	ans.	ans.
	LA TERRE.		
En. . . . 2936	En. . 34270½	En. . . 74832	En. . . 168123
	LA LUNE.		
En. . . . 644	En. . 7515	En. . . 16409	En. . . 72514
	MERCURE.		
En. . . . 2127	En. . 24813	En. . . 54192	En. . . 187765
	VÉNUS.		
En. . . . 3596	En. . 41969	En. . . 91643	En. . . 128540
	MARS.		
En. . . . 1130	En. . 13034	En. . . 28538	En. . . 60326
	JUPITER.		
En. . . . 9433	En. . 110118	En. . . 240451	En. . . 483121
	Ier SATELLITE.		
En. . . . 8886	En. . 101376	En. . . 222203	En. . . 444406
	IIe SATELLITE.		
En. . . . 7496	En. . 87500	En. . . 193090	En. . . 386180
	IIIe SATELLITE.		
En. . . . 6821	En. . 80700	En. . . 176212	En. . . 352424
	IVe SATELLITE.		
En. . . . 2758	En. . 32194	En. . . 70296	En. . . 140542
	SATURNE.		
En. . . . 5140	En. . 59911	En. . . 130821	En. . . 262020
	ANNEAU DE SATURNE.		
En. . . . 6558	En. . 76512	En. . . 126473	En. . . 252946
	Ier SATELLITE.		
En. . . . 4891	En. . 57011	En. . . 124490	En. . . 248980
	IIe SATELLITE.		
En. . . . 4688	En. . 54774	En. . . 119607	En. . . 239214
	IIIe SATELLITE.		
En. . . . 4533	En. . 51108	En. . . 111580	En. . . 223160
	IVe SATELLITE.		
En. . . . 2138	En. . 24962	En. . . 54505	En. . . 109010
	Ve SATELLITE.		
En. . . . 600	En. . 7003	En. . . 15298	En. . . 67747

Il ne manque à cette table, pour lui donner toute l'exactitude qu'elle peut comporter, que le rapport des densités des satellites à la densité de leur planète principale, que nous n'y avons pas fait entrer, à l'ex-

ception de la lune, où cet élément est employé. Or, ne connoissant pas le rapport réel de la densité des satellites de Jupiter et des satellites de Saturne à leurs planètes principales, et ne connoissant que le rapport de la densité de la lune à la terre, nous nous fonderons sur cette analogie, et nous supposerons, en conséquence, que le rapport de la densité de Jupiter, ainsi que le rapport de la densité de Saturne, sont les mêmes que celui de la densité de la terre à la densité de la lune, qui est son satellite; c'est-à-dire :: 1000 : 702; car il est très naturel d'imaginer, d'après cet exemple que la lune nous offre, que cette différence entre la densité de la terre et de la lune vient de ce que ce sont les parties les plus légères du globe terrestre qui s'en sont séparées dans le temps de la liquéfaction pour former la lune : la vitesse de la rotation de la terre, étant de 9 mille lieues en vingt-trois heures cinquante-six minutes, ou de 6 lieues $^1/_4$ par minute, étoit suffisante pour projeter un torrent de la matière liquide la moins dense, qui s'est rassemblé, par l'attraction mutuelle de ses parties, à 85 mille lieues de distance, et y a formé le globe de la lune, dans un plan parallèle à celui de l'équateur de la terre. Les satellites de Jupiter et de Saturne, ainsi que son anneau, sont aussi dans un plan parallèle à leur équateur, et ont été formés de même par la force centrifuge, encore plus grande dans ces grosses planètes que dans le globe terrestre, puisque leur vitesse de rotation est beaucoup plus grande. Et de la même manière que la lune est moins dense que la terre dans la raison de 702 à 1000, on peut présumer que les satellites de Jupiter et ceux de Saturne sont moins

denses que ses planètes dans cette même raison de 702 à 1000. Il faut donc corriger, dans la table précédente, tous les articles des satellites d'après ce rapport, et alors elle se présentera dans l'ordre suivant.

TABLE PLUS EXACTE

Des temps du refroidissement des planètes et de leurs satellites.

CONSOLIDÉES jusqu'au CENTRE.	REFROIDIES à pouvoir LES TOUCHER.	REFROIDIES à la température ACTUELLE.	REFROIDIES à $\frac{1}{25}$ de la température ACTUELLE.
ans.	ans.	ans.	ans.
	LA TERRE.		
En. . . 2936	En. . $34270\frac{1}{2}$	En. . 74832	En. . 168123
	LA LUNE.		
En. . . 644	En. . 7515	En. . 16409	En. . 72514
	MERCURE.		
En. . . 2127	En. . 24813	En. . 54192	En. . 187765
	VÉNUS.		
En. . . 3596	En. . 41969	En. . 91643	En. . 228540
	MARS.		
En. . . 1130	En. . 13034	En. . 28538	En. . 60326
	JUPITER.		
En. . . 9433	En. 110118	En. . 240451	En. . 483121
	SATELLITES DE JUPITER.		
1er en. 6238	En. . 71166	En. . 155986	En. . 311973
2e en. 5262	En. . 61425	En. . 135549	En. . 271098
3e en. 4788	En. . $56651\frac{2}{5}$	En. . $123700\frac{5}{6}$	En. . $247401\frac{4}{6}$
4e en. 1936	En. . $22600\frac{1}{5}$	En. . 49348	En. . 98696
	SATURNE.		
En. . . 5140	En. . 59911	En. . 130821	En. . 262020
	ANNEAU DE SATURNE.		
En. . . 4604	En. . 53711	En. . 88784	En. . 177568
	SATELLITES DE SATURNE.		
1er en. 3433	En. . $40021\frac{9}{25}$	En. . 87392	En. . 174784
2e en. 3291	En. . $38451\frac{1}{3}$	En. . 83964	En. . 167928
3e en. 3182	En. . 35878	En. . 78329	En. . 156658
4e en. 1502	En. . $17523\frac{1}{3}$	En. . $38262\frac{1}{2}$	En. . 76525
5e en. $421\frac{1}{5}$	En. . 4916	En. . 10739	En. . 47558

En jetant un coup d'œil de comparaison sur cette table, qui contient le résultat de nos recherches et de nos hypothèses, on voit :

1° Que le cinquième satellite de Saturne a été la première terre habitable, et que la nature vivante n'y a duré que depuis l'année 4916 jusqu'à l'année 47558 de la formation des planètes, en sorte qu'il y a longtemps que cette planète secondaire est trop froide pour qu'il puisse y subsister des êtres organisés semblables à ceux que nous connoissons :

2° Que la lune a été la seconde terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir en toucher la surface s'est fait en 7515 ans ; et son refroidissement à la température actuelle s'étant fait en 16409 ans, il s'ensuit qu'elle a joui d'une chaleur convenable à la nature vivante peu d'années après les 7515 ans depuis la formation des planètes, et que par conséquent la nature organisée a pu y être établie dès ce temps, et que depuis cette année 7515 jusqu'à l'année 72514 la température de la lune s'est refroidie jusqu'à $^{10}/_{25}$ de la chaleur actuelle de la terre, en sorte que les êtres organisés n'ont pu y subsister que pendant 60 mille ans tout au plus ; et enfin qu'aujourd'hui, c'est-à-dire depuis 2318 ans environ, cette planète est trop froide pour être peuplée de plantes et d'animaux :

3° Que Mars a été la troisième terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir en toucher la surface s'est fait en 13034 ans ; et son refroidissement à la température actuelle s'étant fait en 28538 ans, il s'ensuit qu'il a joui d'une chaleur convenable à la nature vivante peu d'années après les

13034, et que par conséquent la nature organisée a pu y être établie dès ce temps de la formation des planètes, et que, depuis cette année 13034 jusqu'à l'année 60326, la température s'est trouvée convenable à la nature des êtres organisés, qui, par conséquent, ont pu y subsister pendant 47292 ans; mais qu'aujourd'hui cette planète est trop refroidie pour être peuplée depuis plus de 14000 ans :

4° Que le quatrième satellite de Saturne a été la quatrième terre habitable, et que la nature vivante y a duré depuis l'année 17523 et durera tout au plus jusqu'à l'année 76526 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire étant actuellement (c'est-à-dire en 74832) beaucoup plus froide que la terre, les êtres organisés ne peuvent y subsister que dans un état de langueur, ou même n'y subsistent plus :

5° Que le quatrième satellite de Jupiter a été la cinquième terre habitable, et que la nature vivante y a duré depuis l'année 22600 et y durera jusqu'à l'année 98696 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire est actuellement plus froide que la terre, mais pas assez néanmoins pour que les êtres organisés ne puissent encore y subsister :

6° Que Mercure a été la sixième terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir le toucher s'est fait en 24813 ans, et son refroidissement à la température actuelle en 54192 ans; il s'ensuit donc qu'il a joui d'une chaleur convenable à la nature vivante peu d'années après les 24813 ans, et que par conséquent la nature organisée a pu y être établie dès ce temps, et que depuis cette année 24813

de la formation des planètes, jusqu'à l'année 187765, sa température s'est trouvée et se trouvera convenable à la nature des êtres organisés, qui par conséquent ont pu et pourront encore y subsister pendant 162952 ans; en sorte qu'aujourd'hui cette planète peut être peuplée de tous les animaux et de toutes les plantes qui couvrent la surface de la terre :

7° Que le globe terrestre a été la septième terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir le toucher s'est fait en 34770 ans ½; et son refroidissement à la température actuelle s'étant fait en 74832 ans, il s'ensuit qu'il a joui d'une chaleur convenable à la nature vivante peu d'années après les 34770 ans ½, que par conséquent la nature, telle que nous la connoissons, a pu y être établie dès ce temps, c'est-à-dire il y a 40062 ans, et pourra encore y subsister jusqu'en l'année 178123, c'est-à-dire pendant 93291 ans, à dater de ce jour :

8° Que le troisième satellite de Saturne a été la huitième terre habitable, et que la nature vivante y a duré depuis l'année 35878 et y durera jusqu'à l'année 156658 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire étant actuellement un peu plus chaude que la terre, la nature organisée y est dans sa vigueur, et telle qu'elle étoit sur la terre il y a trois ou quatre mille ans :

9° Que le second satellite de Saturne a été la neuvième terre habitable, et que la nature vivante y a duré depuis l'année 48451 et y durera jusqu'à l'année 167928 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire étant actuellement plus chaude que la terre, la nature organisée y est dans sa pleine vi-

gueur, et telle qu'elle étoit sur le globe terrestre il y a huit ou neuf mille ans :

10° Que le premier satellite de Saturne a été la dixième terre habitable, et que la nature vivante y a duré depuis l'année 40020 et y durera jusqu'à l'année 174784 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire étant actuellement considérablement plus chaude que le globe terrestre, la nature organisée y est dans sa première vigueur, et telle qu'elle étoit sur la terre il y a douze à treize mille ans :

11° Que Vénus a été la onzième terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir la toucher s'est fait en 41969 ans; et son refroidissement à la température actuelle s'étant fait en 91643 ans, il s'ensuit qu'elle jouit actuellement d'une chaleur plus grande que celle dont nous jouissons, et à peu près semblable à celle dont jouissoient nos ancêtres il y a six ou sept mille ans, et que depuis cette année 41969, ou quelque temps après, la nature organisée a pu y être établie, et que jusqu'à l'année 228540 elle pourra y subsister; en sorte que la durée de la nature vivante, dans cette planète, a été et sera de 186571 ans :

12° Que l'anneau de Saturne a été la douzième terre habitable, et que la nature vivante y est établie depuis l'année 53711 et y durera jusqu'à l'année 177568 de la formation des planètes; en sorte que cet anneau étant beaucoup plus chaud que le globe terrestre, la nature organisée y est dans sa première vigueur, telle qu'elle étoit sur la terre il y a treize ou quatorze mille ans :

13° Que le troisième satellite de Jupiter a été la treizième terre habitable, et que la nature vivante y

est établie depuis l'année 56651, et y durera jusqu'en l'année 246401 de la formation des planètes; en sorte que cette planète secondaire étant beaucoup plus chaude que la terre, la nature organisée ne fait que commencer de s'y établir;

14° Que Saturne a été la quatorzième terre habitable, puisque son refroidissement au point de pouvoir le toucher s'est fait en 59911 ans; et son refroidissement à la température actuelle devant se faire en 130821 ans, il s'ensuit que la nature vivante a pu y être établie peu de temps après cette année 59911 de la formation des planètes, et que, par conséquent, elle y a subsisté et pourra y subsister encore jusqu'en l'année 262020; en sorte que la nature vivante y est actuellement dans sa première vigueur, et pourra durer dans cette grosse planète pendant 262020 ans;

15° Que le second satellite de Jupiter a été la quinzième terre habitable, et que la nature vivante y est établie depuis l'année 61425, c'est-à-dire depuis 13407 ans, et qu'elle y durera jusqu'à l'année 261098 de la formation des planètes;

16° Que le premier satellite de Jupiter a été la seizième terre habitable, et que la nature vivante y est établie depuis l'année 71166, c'est-à-dire depuis 3666 ans, et qu'elle y durera jusqu'en l'année 311973 de la formation des planètes;

17° Enfin que Jupiter est le dernier des globes planétaires sur lequel la nature vivante pourra s'établir. Nous devons donc conclure, d'après ce résultat général de nos recherches, que des dix-sept corps planétaires, il y en a en effet trois, savoir, le cinquième

satellite de Saturne, la lune, et Mars, où notre nature seroit gelée; un seul, savoir, Jupiter, où la nature vivante n'a pu s'établir jusqu'à ce jour, par la raison de la trop grande chaleur encore subsistante dans cette grosse planète; mais que dans les treize autres, savoir, le quatrième satellite de Saturne, le quatrième satellite de Jupiter, Mercure, le globe terrestre, le troisième. le second, et le premier satellite de Saturne, Vénus, l'anneau de Saturne, le troisième satellite de Jupiter, Saturne, le second et le premier satellite de Jupiter, la chaleur, quoique de degrés très différents, peut néanmoins convenir actuellement à l'existence des êtres organisés, et on peut croire que tous ces vastes corps sont, comme le globe terrestre, couverts de plantes et même peuplés d'êtres sensibles, à peu près semblables aux animaux de la terre. Nous démontrerons ailleurs, par un grand nombre d'observations rapprochées, que dans tous les lieux où la température est la même on trouve non seulement les mêmes espèces de plantes, les mêmes espèces d'insectes, les mêmes espèces de reptiles, sans les y avoir portées, mais aussi les mêmes espèces de poissons, les mêmes espèces de quadrupèdes, les mêmes espèces d'oiseaux, sans qu'ils y soient allés; et je remarquerai en passant qu'on s'est souvent trompé en attribuant à la migration et au long voyage des oiseaux les espèces de l'Europe qu'on trouve en Amérique ou dans l'orient de l'Asie, tandis que ces oiseaux d'Amérique et d'Asie, tout-à-fait semblables à ceux de l'Europe, sont nés dans leur pays, et ne viennent pas plus chez nous que les nôtres ne vont chez eux. La même température nourrit, produit partout les mê-

mes êtres; mais cette vérité générale sera démontrée plus en détail dans quelques uns des articles suivants.

On pourra remarquer, 1° que l'anneau de Saturne a été presque aussi long-temps à se refroidir aux points de la consolidation et du refroidissement à pouvoir le toucher, que Saturne même; ce qui ne paroît pas vrai ni vraisemblable, puisque cet anneau est fort mince, et que Saturne est d'une épaisseur prodigieuse en comparaison : mais il faut faire attention d'abord à l'immense quantité de chaleur que cette grosse planète envoyoit dans les commencements à son anneau, et qui, dans le temps de l'incandescence, étoit plus grande que celle de cet anneau, quoiqu'il fût aussi lui-même dans cet état d'incandescence, et que par conséquent le temps nécessaire à sa consolidation a dû être prolongé de beaucoup par cette première cause.

2° Que quoique Saturne fût lui-même consolidé jusqu'au centre en 5140 ans, il n'a cessé d'être rouge et très brûlant que plusieurs siècles après, et que par conséquent il a encore envoyé, dans les siècles postérieurs à sa consolidation, une quantité prodigieuse de chaleur à son anneau; ce qui a dû prolonger son refroidissement dans la proportion que nous avons établie. Seulement il faut convenir que les périodes du refroidissement de Saturne au point de la consolidation et du refroidissement à pouvoir le toucher sont trop courtes, parce que nous n'avons pas fait l'estimation de la chaleur que son anneau et ses satellites lui ont envoyée, et que cette quantité de chaleur que nous n'avons pas estimée ne laisse pas

d'être considérable : car l'anneau, comme très grand et très voisin, envoyoit à Saturne dans le commencement, non seulement une partie de sa chaleur propre, mais encore il lui réfléchissoit une grande portion de celle qu'il en recevoit; en sorte que je crois qu'on pourroit, sans se tromper, augmenter d'un quart le temps de la consolidation de Saturne, c'est-à-dire assigner 6857 ans pour sa consolidation jusqu'au centre, et de même augmenter d'un quart les 59911 ans que nous avons indiqués pour son refroidissement au point de le toucher, ce qui donne 79881 ans; en sorte que ces deux termes peuvent être substitués dans la table générale aux deux premiers.

Il est de même très certain que le temps du refroidissement de Saturne au point de la température actuelle de la terre, qui est de 130821 ans, doit, par les mêmes raisons, être augmenté, non pas d'un quart, mais peut-être d'un huitième, et que cette période, au lieu d'être 130821 ans, pourroit être de 147173 ans.

On doit aussi augmenter un peu les périodes du refroidissement de Jupiter, parce que ses satellites lui ont envoyé une portion de leur chaleur propre, et en même temps une partie de celle que Jupiter leur envoyoit : en estimant un dixième le prolongement que cette addition de chaleur a pu faire aux trois premières périodes du refroidissement de Jupiter, il ne se sera consolidé jusqu'au centre qu'en 10376 ans, et ne se refroidira au point de pouvoir le toucher, qu'en 121129 ans, et au point de la température actuelle de la terre en 264507 ans.

Je n'admets qu'un assez petit nombre d'années entre le point où l'on peut commencer à toucher sans se brûler les différents globes, et celui où la chaleur cesse d'être offensante pour les êtres sensibles : car j'ai fait cette estimation d'après les expériences très souvent réitérées dans mon second mémoire, par lesquelles j'ai reconnu qu'entre le point auquel on peut, pendant une demi-seconde, tenir un globe sans se brûler, et le point où l'on peut le manier long-temps et où sa chaleur nous affecte d'une manière douce et convenable à notre nature, il n'y a qu'un intervalle assez court ; en sorte, par exemple, que s'il faut 20 minutes pour refroidir un globe au point de pouvoir le toucher sans se brûler, il ne faut qu'une minute de plus pour qu'on puisse le manier avec plaisir. Dès lors, en augmentant d'un vingtième les temps nécessaires au refroidissement de globes planétaires, au point de pouvoir les toucher, on aura plus précisément les temps de la naissance de la nature dans chacun, et ces temps seront dans l'ordre suivant.

Date de la formation des planètes. . . 74832 ans.

Commencement, fin, et durée de l'existence de la nature organisée dans chaque planète.

COMMENCEMENT.		FIN.	DURÉE absolue.	DURÉE à dater de ce jour.
	De la formation des planètes.	De la formation des planètes.	Ans.	Ans.
Ve Satellite de Saturne.	5161	47558	42389	0
La Lune.	7890	72514	64624	0
Mars.	13685	60326	56641	0
IVe Satellite de Saturne. . . .	18399	76525	58126	1693
IVe Satellite de Jupiter.	23730	98695	74966	23864
Mercure.	26053	187765	161712	112933
La Terre.	35983	168123	132140	93291
IIIe Satellite de Saturne. . . .	37672	156658	118986	81826
IIe Satellite de Saturne.	40373	167928	127655	93096
Ier Satellite de Saturne.	42021	174784	132763	99952
Vénus.	44067	228540	184473	153708
Anneau de Saturne.	56396	177568	121172	102736
IIIe Satellite de Jupiter.	59483	247401	187918	172569
Saturne.	62906	262020	199114	187188
IIe Satellite de Jupiter.	64496	271098	206602	796266
Ier Satellite de Jupiter.	74724	311973	237249	237141
Jupiter.	115623	483121	367498	

D'après ce dernier tableau, qui approche le plus de la vérité, on voit :

1° Que la nature organisée, telle que nous la connoissons, n'est point encore née dans Jupiter, dont la chaleur est trop grande encore aujourd'hui pour pouvoir en toucher la surface, et que ce ne sera que dans 40791 ans que les êtres vivants pourroient y subsister, mais qu'ensuite s'ils y étoient établis, ils dureroient 367498 ans dans cette grosse planète ;

2° Que la nature vivante, telle que nous la connoissons, est éteinte dans le cinquième satellite de Saturne depuis 27274 ans, dans Mars depuis 14506 ans, et dans la lune depuis 2318 ans;

3° Que la nature est prête à s'éteindre dans le quatrième satellite de Saturne, puisqu'il n'y a plus que 1693 ans pour arriver au point extrême de la plus petite chaleur nécessaire au maintien des êtres organisés;

4° Que la nature vivante est foible dans le quatrième satellite de Jupiter, quoiqu'elle puisse y subsister encore pendant 23864 ans;

5° Que sur la planète de Mercure, sur la terre, sur le troisième, sur le second, et sur le premier satellite de Saturne, sur la planète de Vénus, sur l'anneau de Saturne, sur le second et sur le premier satellite de Jupiter, la nature vivante est actuellement en pleine existence, et que par conséquent tous ces corps planétaires peuvent être peuplés comme le globe terrestre.

Voilà mon résultat général et le but auquel je me proposois d'atteindre. On jugera par la peine que m'ont donnée ces recherches[1], et par le grand nom-

1. Les calculs que supposoient ces recherches sont plus longs que difficiles, mais assez délicats pour qu'on puisse se tromper. Je ne me suis pas piqué d'une exactitude rigoureuse, parce qu'elle n'auroit produit que de légères différences, et qu'elle m'auroit pris beaucoup de temps que je pouvois mieux employer. Il m'a suffi que la méthode que j'ai suivie fût exacte, et que mes raisonnements fussent clairs et conséquents : c'est là tout ce que j'ai prétendu. Mon hypothèse sur la liquéfaction de la terre et des planètes m'a paru assez fondée pour prendre la peine d'en évaluer les effets, et j'ai cru devoir donner en détail ces évaluations comme je les ai trouvées, afin que, s'il s'est

bre d'expériences préliminaires qu'elles exigeoient, combien je dois être persuadé de la probabilité de mon hypothèse sur la formation des planètes : et pour qu'on ne me croie pas persuadé sans raison, et même sans de très fortes raisons, je vais exposer, dans le mémoire suivant, les motifs de ma persuasion, en présentant les faits et les analogies sur lesquels j'ai fondé mes opinions, établi l'ordre de mes raisonnements, suivi les inductions que l'on en doit déduire, et enfin tiré la conséquence générale de l'existence réelle des êtres organisés et sensibles dans tous les corps du système solaire, et l'existence plus que probable de ces mêmes êtres dans tous les autres corps qui composent les systèmes des autres soleils ; ce qui augmente et multiplie presque à l'infini l'étendue de la nature vivante, et élève en même temps le plus grand de tous les monuments à la gloire du Créateur.

SECOND MÉMOIRE.

Fondements des recherches précédentes sur la température des planètes.

L'homme nouveau n'a pu voir, et l'homme ignorant ne voit encore aujourd'hui la nature et l'étendue de l'univers que par le simple rapport de ses yeux ; la

glissé dans ce long travail quelques fautes de calcul ou d'inattention, mes lecteurs soient en état de les corriger eux-mêmes.

terre est pour lui un solide d'un volume sans bornes, d'une étendue sans limites, dont il ne peut qu'avec peine parcourir de petits espaces superficiels, tandis que le soleil, les planètes, et l'immensité des cieux ne lui présentent que des points lumineux, dont le soleil et la lune lui paroissent être les seuls objets dignes de fixer ses regards. A cette fausse idée sur l'étendue de la nature et sur les proportions de l'univers s'est bientôt joint le sentiment encore plus disproportionné de la prétention. L'homme, en se comparant aux autres êtres terrestres, s'est trouvé le premier: dès lors il a cru que tous étoient faits pour lui; que la terre même n'avoit été créée que pour lui servir de domicile, et le ciel de spectacle; qu'enfin l'univers entier devoit se rapporter à ses besoins, et même à ses plaisirs. Mais, à mesure qu'il a fait usage de cette lumière divine qui seule ennoblit son être, à mesure que l'homme s'est instruit, il a été forcé de rabattre de plus en plus de ses prétentions; il s'est vu rapetisser en même raison que l'univers s'agrandissoit, et il lui est aujourd'hui bien évidemment démontré que cette terre qui fait tout son domaine, et sur laquelle il ne peut malheureusement subsister sans querelle et sans trouble, est à proportion toute aussi petite pour l'univers que lui-même l'est pour le Créateur. En effet il n'est plus possible de douter que cette même terre, si grande et si vaste pour nous, ne soit une assez médiocre planète, une petite masse de matière qui circule avec les autres autour du soleil; que cet astre de lumière et de feu ne soit plus de douze cent mille fois plus gros que le globe de la terre, et que sa puissance ne s'étende à tous les corps

qu'il fléchit autour de lui ; en sorte que notre globe en étant éloigné de trente-trois millions de lieues au moins, la planète de Saturne se trouve à plus de trois cent treize millions des mêmes lieues : d'où l'on ne peut s'empêcher de conclure que l'étendue de l'empire du soleil, ce roi de la nature, ne soit une sphère dont le diamètre est de six cent vingt-sept millions de lieues, tandis que celui de la terre n'est que de deux mille huit cent soixante-cinq ; et si l'on prend le cube de ces deux nombres, on se démontrera que la terre est plus petite, relativement à cet espace, qu'un grain de sable ne l'est relativement au volume entier du globe.

Néanmoins la planète de Saturne, quoique la plus éloignée du soleil, n'est pas encore à beaucoup près sur les confins de son empire. Les limites en sont beaucoup plus reculées, puisque les comètes parcourent, au delà de cette distance, des espaces encore plus grands, que l'on peut estimer par la période du temps de leurs révolutions. Une comète qui, comme celle de l'année 1680, circule autour du soleil en 575 ans, s'éloigne de cet astre 15 fois plus que Saturne n'en est distant ; car le grand axe de son orbite est 138 fois plus grand que la distance de la terre au soleil. Dès lors on doit augmenter encore l'étendue de la puissance solaire de 15 fois la distance du soleil à Saturne, en sorte que tout l'espace dans lequel sont comprises les planètes n'est qu'une petite province du domaine de cet astre, dont les bornes doivent être posées au moins à 138 fois la distance du soleil à la terre, c'est-à-dire à 138 fois 33 ou 34 millions de lieues.

Quelle immensité d'espace! et quelle quantité de matière! car, indépendamment des planètes, il existe probablement quatre ou cinq cents comètes, peut-être plus grosses que la terre, qui parcourent en tous sens les différentes régions de cette vaste sphère, dont le globe terrestre ne fait qu'un point, une unité sur 191.201.612.985.514.272.000, quantité que ces nombres représentent, mais que l'imagination ne peut atteindre ni saisir. N'en voilà-t-il pas assez pour nous rendre, nous, les nôtres, et notre grand domicile, plus petits que des atomes?

Cependant cette énorme étendue, cette sphère si vaste, n'est encore qu'un très petit espace dans l'immensité des cieux; chaque étoile fixe est un soleil, un centre d'une sphère tout aussi vaste; et comme on en compte plus de deux mille qu'on aperçoit à la vue simple et qu'avec des lunettes on en découvre un nombre d'autant plus grand, que ces instruments sont plus puissants, l'étendue de l'univers entier paroit être sans bornes, et le système solaire ne fait plus qu'une province de l'empire universel du Créateur, empire infini comme lui.

Sirius, étoile fixe la plus brillante, et que par cette raison nous pouvons regarder comme le soleil le plus voisin du nôtre, ne donnant à nos yeux qu'une seconde de parallaxe annuelle sur le diamètre entier de l'orbe de la terre, est à 677170 millions de lieues de distance de nous, c'est-à-dire à 676216 millions des limites du système solaire, telles que nous les avons assignées d'après la profondeur à laquelle s'enfoncent les comètes dont la période est la plus longue. Supposant donc qu'il ait été départi à Sirius un espace égal

à celui qui appartient à notre soleil, on voit qu'il faut encore reculer les limites de notre système solaire de 742 fois plus qu'il ne l'est déjà jusqu'à l'aphélie de la comète, dont l'énorme distance au soleil n'est néanmoins qu'une unité sur 742 du demi-diamètre total de la sphère entière du système solaire[1].

1. Distance de la terre au soleil..........	33 millions de lieues.
Distance de Saturne au soleil.	313 millions de lieues.
Distance de l'aphélie de la comète au soleil.	4,554 millions.
Distance de Sirius au soleil.	6,771,770 millions de lieues.
Distance de Sirius au point de l'aphélie de la comète, en supposant qu'en remontant du soleil la comète ait pointé directement vers Sirius (supposition qui diminue la distance autant qu'il est possible).	6,767,216 millions.
Moitié de la distance de Sirius au soleil, ou profondeur du système solaire et du système sirien.	3,385,885 millions.
Étendue au delà des limites de l'aphélie des comètes.	3,381,331 millions.
Ce qui étant divisé par la distance de l'aphélie de la comète donne.	742 ½ environ.

On peut encore d'une autre manière se former une idée de cette distance immense de Sirius à nous, en se rappelant que le disque du soleil forme à nos yeux un angle de 32 minutes, tandis que celui de Sirius n'en fait pas un d'une seconde; et Sirius étant un soleil comme le nôtre, que nous supposerons d'une égale grandeur, puisqu'il n'y a pas plus de raison de le supposer plus grand que plus petit, il nous paroîtroit aussi grand que le soleil s'il n'étoit qu'à la même distance. Prenant donc deux nombres proportionnels au carré de 32 minutes et au carré d'une seconde, on aura 3,686,400 pour la distance de la terre à Sirius, et 1 pour sa distance au soleil; et comme cette unité vaut 33 millions de lieues, on voit à combien de milliards de lieues Sirius est loin de nous, puisqu'il faut multiplier ces 33 millions par 3,686,400; et si nous divisons l'espace entre ces deux soleils voisins, quoique si fort éloignés, nous verrons que les comètes pourroient s'éloigner à

Ainsi, quand même il existeroit des comètes dont la période de révolution seroit double, triple, et même décuple de la période de 575 ans, la plus longue qui nous soit connue; quand les comètes en conséquence pourroient s'enfoncer à une profondeur dix fois plus grande, il y auroit encore un espace 74 ou 75 fois plus profond pour arriver aux derniers confins tant du système solaire que du système sirien; en sorte qu'en donnant à Sirius autant de grandeur et de puissance qu'en a notre soleil, et supposant dans son système autant ou plus de corps cométaires qu'il n'existe de comètes dans le système solaires, Sirius les régira comme le soleil régit les siens, et il restera de même un intervalle immense entre les confins des deux empires, intervalle qui ne paroît être qu'un désert dans l'espace, et qui doit faire soupçon-

une distance dix-huit cent mille fois plus grande que celle de la terre au soleil, sans sortir des limites de l'univers solaire, et sans subir par conséquent d'autres lois que celle de notre soleil; et de là on peut conclure que le système solaire a pour diamètre une étendue qui, quoique prodigieuse, ne fait néanmoins qu'une très petite portion des cieux; et l'on en doit inférer une vérité peu connue, c'est que de tous les points de l'univers planétaire, c'est-à-dire que du soleil, de la terre, et de toutes les autres planètes, le ciel doit paroître le même.

Lorsque dans une belle nuit l'on considère tous ces feux dont brille la voûte céleste, on imagineroit qu'en se transportant dans une autre planète plus éloignée du soleil que ne l'est la terre, on verroit ces astres étincelants grandir et répandre une lumière plus vive, puisqu'on les verroit de plus près. Néanmoins l'espèce de calcul que nous venons de faire démontre que quand nous serions placés dans Saturne, c'est-à-dire neuf ou dix fois plus loin de notre soleil, et 300 millions de lieues plus près de Sirius, il ne nous paroîtroit plus gros que d'une 194021e partie, augmentation qui seroit absolument insensible : d'où l'on doit conclure que le ciel a, pour toutes les planètes, le même aspect que pour la terre.

ner qu'il existe des corps cométaires dont les périodes sont plus longues et qui parviennent à une beaucoup plus grande distance que nous ne pouvons le déterminer par nos connoissances actuelles. Il se pourroit aussi que Sirius fût un soleil beaucoup plus grand et plus puissant que le nôtre ; et si cela étoit, il faudroit reculer d'autant les bornes de son domaine en les rapprochant de nous, et rétrécir en même raison la circonférence de celui du soleil.

On ne peut s'empêcher de présumer en effet que, dans ce très grand nombre d'étoiles fixes qui toutes sont autant de soleils, il n'y en ait de plus grands et de plus petits que le nôtre, d'autres plus ou moins lumineux, quelques uns plus voisins qui nous sont représentés par ces astres que les astronomes appellent *étoiles de la première grandeur*, et beaucoup d'autres plus éloignés qui, par cette raison, nous paroissent plus petits : les étoiles qu'ils appellent *nébuleuses* semblent manquer de lumière et de feu, et n'être, pour ainsi dire, allumées qu'à demi ; celles qui paroissent alternativement sont peut-être d'une forme aplatie par la violence de la force centrifuge dans leur mouvement de rotation : on voit ces soleils lorsqu'ils montrent leur grande face, et ils disparoissent toutes les fois qu'ils se présentent de côté. Il y a dans ce grand ordre de choses, et dans la nature des astres, les mêmes variétés, les mêmes différences en nombre, grandeur, espace, mouvement, forme, et durée ; les mêmes rapports, les mêmes degrés, les mêmes nuances qui se trouvent dans tous les autres ordres de la création.

Chacun de ces soleils étant doué comme le nôtre,

et comme toute matière l'est, d'une puissance attractive qui s'étend à une distance indéfinie, et décroît comme l'espace augmente, l'analogie nous conduit à croire qu'il existe dans la sphère de chacun de ces astres lumineux un grand nombre de corps opaques, planètes ou comètes, qui circulent autour d'eux, mais que nous n'apercevons jamais que par l'œil de l'esprit, puisqu'étant obscurs et beaucoup plus petits que les soleils qui leur servent de foyer, ils sont hors de la portée de notre vue, et même de tous les arts qui peuvent l'étendre ou la perfectionner.

On pourroit donc imaginer qu'il passe quelquefois des comètes d'un système dans l'autre, et que, s'il s'en trouve sur les confins des deux empires, elles seront saisies par la puissance prépondérante, et forcées d'obéir aux lois d'un nouveau maître. Mais, par l'immensité de l'espace qui se trouve au delà de l'aphélie de nos comètes, il paroît que le souverain ordonnateur a séparé chaque système par des déserts mille et mille fois plus vastes que toute l'étendue des espaces fréquentés. Ces déserts, dont les nombres peuvent à peine sonder la profondeur, sont les barrières éternelles, invincibles, que toutes les forces de la nature créée ne peuvent franchir ni surmonter. Il faudroit, pour qu'il y eût communication d'un système à l'autre, et pour que les sujets d'un empire pussent passer dans un autre, que le siége du trône ne fût pas immobile; car l'étoile fixe, ou plutôt le soleil, le roi de ce système, changeant de lieu, entraîneroit à sa suite tous les corps qui dépendent de lui, et pourroit dès lors s'approcher et même s'emparer du domaine d'un autre. Si sa marche se trouvoit dirigée vers un astre

plus foible, il commenceroit par lui enlever les sujets de ses provinces les plus éloignées, ensuite ceux des provinces intérieures ; il les forceroit tous à augmenter son cortége en circulant autour de lui ; et son voisin, dès lors dénué de ses sujets, n'ayant plus ni planètes ni comètes, perdroit en même temps sa lumière et son feu, que leur mouvement seul peut exciter et entretenir : dès lors cet astre isolé, n'étant plus maintenu dans sa place par l'équilibre des forces, seroit contraint de changer de lieu en changeant de nature, et, devenu corps obscur, obéiroit comme les autres à la puissance du conquérant, dont le feu augmenteroit à proportion du nombre de ses conquêtes.

Car que peut-on dire sur la nature du soleil, sinon que c'est un corps d'un prodigieux volume, une masse énorme de matière pénétrée de feu, qui paroît subsister sans aliment comme dans un métal fondu, ou dans un corps solide en incandescence? et d'où peut venir cet état constant d'incandescence, cette production toujours renouvelée d'un feu dont la consommation ne paroît entretenue par aucun aliment, et dont la déperdition est nulle ou du moins insensible, quoique constante depuis un si grand nombre de siècles? Y a-t-il, peut-il même y avoir une autre cause de la production et du maintien de ce feu permanent, sinon le mouvement rapide de la forte pression de tous les corps qui circulent autour de ce foyer commun, qui l'échauffent et l'embrasent, comme une roue rapidement tournée embrase son essieu? La pression qu'ils exercent en vertu de leur pesanteur équivaut au frottement, et même est plus puissante, parce que cette pression est une force pénétrante qui frotte non seu-

lement la surface extérieure, mais toutes les parties intérieures de la masse ; la rapidité de leur mouvement est si grande, que le frottement acquiert une force presque infinie, et met nécessairement toute la masse de l'essieu dans un état d'incandescence, de lumière, de chaleur, et de feu, qui dès lors n'a pas besoin d'aliment pour être entretenu, et qui, malgré la déperdition qui s'en fait chaque jour par l'émission de la lumière, peut durer des siècles de siècles sans atténuation sensible, les autres soleils rendant au nôtre autant de lumière qu'il leur en envoie, et le plus petit atome de feu ou d'une matière quelconque ne pouvant se perdre nulle part dans un système où tout s'attire.

Si cette esquisse du grand tableau des cieux, que je n'ai tâché de tracer que pour me représenter la proportion des espaces et celle du mouvement des corps qui les parcourent ; si de ce point de vue auquel je ne me suis élevé que pour voir plus clairement combien la nature doit être multipliée dans les différentes régions de l'univers, nous descendons à cette portion de l'espace qui nous est mieux connue, et dans laquelle le soleil exerce sa puissance, nous reconnoîtrons que, quoiqu'il régisse par sa force tous les corps qui s'y trouvent, il n'a pas néanmoins la puissance de les vivifier, ni même celle d'y entretenir la végétation et la vie.

Mercure, qui, de tous les corps circulant autour du soleil, en est le plus voisin, n'en reçoit néanmoins qu'une chaleur $^{50}/_{8}$ fois plus grande que celle que la terre en reçoit, et cette chaleur $^{58}/_{8}$ fois plus grande que la chaleur envoyée du soleil à la terre, bien loin d'être brûlante comme on l'a toujours cru, ne seroit

pas assez grande pour maintenir la pleine vigueur de la nature vivante ; car la chaleur actuelle du soleil sur la terre n'étant que $^1/_{50}$ de celle de la chaleur propre du globe terrestre, celle du soleil sur Mercure est par conséquent $\frac{50}{400}$ ou $^1/_8$ de la chaleur actuelle de la terre. Or, si l'on diminuoit des trois quarts et demi la chaleur qui fait aujourd'hui la température de la terre, il est sûr que la nature vivante seroit au moins bien engourdie, supposé qu'elle ne fût pas éteinte. Et puisque le feu du soleil ne peut pas seul maintenir la nature organisée dans la planète la plus voisine, combien, à plus forte raison, ne s'en faut-il pas qu'il puisse vivifier celles qui en sont plus éloignées! Il n'envoie à Vénus qu'une chaleur $\frac{50}{2\,^1/_{50}}$ fois plus grande que celle qu'il envoie à la terre ; et cette chaleur $\frac{50}{2\,^1/_{50}}$ fois plus grande que celle du soleil sur la terre, bien loin d'être assez forte pour maintenir la nature vivante, ne suffiroit certainement pas pour entretenir la liquidité des eaux, ni peut-être même la fluidité de l'air, puisque notre température actuelle se trouveroit refroidie à $^2/_{49}$ ou à $\frac{1}{24\,^1/_2}$; ce qui est tout près du terme $^1/_{25}$, que nous avons donné comme la limite extrême de la plus petite chaleur, relativement à la nature vivante. Et à l'égard de Mars, de Jupiter, de Saturne, et de tous leurs satellites, la quantité de chaleur que le soleil leur envoie est si petite en comparaison de celle qui est nécessaire au maintien de la nature, qu'on pourroit la regarder comme de nul effet, surtout dans les deux plus grosses planètes, qui néanmoins paroissent être les objets essentiels du système solaire.

Toutes les planètes, sans même en excepter Mercure, seroient donc et auroient toujours été des volumes aussi grands qu'inutiles d'une matière plus que brute, profondément gelée, et par conséquent des lieux inhabités de tous les temps, inhabitables à jamais si elles ne renfermoient pas au dedans d'elles-mêmes des trésors d'un feu bien supérieur à celui qu'elles reçoivent du soleil. Cette quantité de chaleur que notre globe possède en propre, et qui est 50 fois plus grande que la chaleur qui lui vient du soleil, est en effet le trésor de la nature, le vrai fonds du feu qui nous anime, ainsi que tous les êtres: c'est cette chaleur intérieure de la terre qui fait tout germer, tout éclore; c'est elle qui constitue l'élément du feu proprement dit, élément qui seul donne le mouvement aux autres éléments, et qui, s'il étoit réduit à $^1/_{50}$, ne pourroit vaincre leur résistance, et tomberoit lui-même dans l'inertie. Or cet élément, le seul actif, le seul qui puisse rendre l'air fluide, l'eau liquide, et la terre pénétrable, n'auroit-il été donné qu'au seul globe terrestre? L'analogie nous permet-elle de douter que les autres planètes ne contiennent de même une quantité de chaleur qui lui appartient en propre, et qui doit les rendre capables de recevoir et de maintenir la nature vivante? N'est-il pas plus grand, plus digne de l'idée que nous devons avoir du Créateur, de penser que partout il existe des êtres qui peuvent le connoître et célébrer sa gloire, que de dépeupler l'univers, à l'exception de la terre, et de le dépouiller de tous êtres sensibles, en le réduisant à une profonde solitude, où l'on ne trouveroit que le

désert de l'espace, et les épouvantables masses d'une matière entièrement inanimée?

Il est donc nécessaire, puisque la chaleur du soleil est si petite sur la terre et sur les autres planètes, que toutes possèdent une chaleur qui leur appartienne en propre; et nous devons rechercher d'où provient cette chaleur qui seule peut constituer l'élément du feu dans chacune des planètes. Or où pourrons-nous puiser cette grande quantité de chaleur, si ce n'est dans la source même de toute chaleur, dans le soleil seul, de la matière duquel les planètes ayant été formées, et projetées par une seule et même impulsion, auront toutes conservé leur mouvement dans le même sens, et leur chaleur à proportion de leur grosseur et de leur densité? Quiconque pèsera la valeur de ces analogies et sentira la force de leurs rapports ne pourra guère douter que les planètes ne soient issues et sorties du soleil par le choc d'une comète, parce qu'il n'y a dans le système solaire que les comètes qui soient des corps assez puissants et en assez grand mouvement pour pouvoir communiquer une pareille impulsion aux masses de matière qui composent les planètes. Si l'on réunit à tous les faits sur lesquels j'ai fondé cette hypothèse [1] le nouveau fait de la chaleur propre de la terre et de l'insuffisance du soleil pour maintenir la nature, on demeurera persuadé, comme je le suis, que, dans le temps de leur formation, les planètes et la terre étoient dans un état de liquéfaction, ensuite dans un état d'incandescence, et enfin dans un état

1. Voyez, dans le premier volume de cet ouvrage, l'article qui a pour titre : *De la formation des planètes.*

successif de chaleur toujours décroissante depuis l'incandescence jusqu'à la température actuelle.

Car y a-t-il moyen de concevoir autrement l'origine et la durée de cette chaleur propre de la terre? Comment imaginer que que le feu qu'on appelle *central* pût subsister *en effet*, au fond du globe, sans air, c'est-à-dire sans son premier aliment? et d'où viendroit ce feu qu'on suppose renfermé dans le centre du globe? Quelle source, quelle origine pourroit-on lui trouver? Descartes avoit déjà pensé que la terre et les planètes n'étoient que de petits soleils *encroûtés*, c'est-à-dire éteints; Leibnitz n'a pas hésité à prononcer que le globe terrestre devoit sa forme et la consistance de ses matières à l'élément du feu; et néanmoins ces deux grands philosophes n'avoient pas, à beaucoup près, autant de faits, autant d'observations qu'on en a rassemblé et acquis de nos jours : ces faits sont actuellement en si grand nombre et si bien constatés, qu'il me paroît plus que probable que la terre, ainsi que les planètes, ont été projetées hors du soleil, et par conséquent composées de la même matière, qui d'abord étant en liquéfaction a obéi à la force centrifuge, en même temps qu'elle se rassembloit par celle de l'attraction; ce qui a donné à toutes les planètes la forme renflée sous l'équateur, et aplatie sous les pôles, en raison de la vitesse de leur rotation; qu'ensuite ce grand feu s'étant peu à peu dissipé, l'état d'une température bénigne et convenable à la nature organisée a succédé ou plus tôt ou plus tard dans les différentes planètes, suivant la différence de leur épaisseur et de leur densité. Et quand même il y auroit, pour la terre et pour les planètes, d'autres causes par-

ticulières de chaleur qui se combineroient avec celles dont nous avons calculé les effets, nos résultats n'en sont pas moins curieux, et n'en seront que plus utiles à l'avancement des sciences. Nous parlerons ailleurs de ces causes particulières de chaleur; tout ce que nous en pouvons dire ici, pour ne pas compliquer les objets, c'est que ces causes particulières pourront prolonger encore le temps du refroidissement du globe et la durée de la nature vivante au delà des termes que nous avons indiqués.

Mais, me dira-t-on, votre théorie est-elle également bien fondée dans tous les points qui lui servent de base? Il est vrai, d'après vos expériences, qu'un globe gros comme la terre et composé des mêmes matières ne pourroit se refroidir, depuis l'incandescence à la température actuelle, qu'en 74 mille ans, et que pour l'échauffer jusqu'à l'incandescence il faudroit la quinzième partie de ce temps, c'est-à-dire environ cinq mille ans; et encore faudroit-il que ce globe fût environné pendant tout ce temps du feu le plus violent : dès lors il y a, comme vous le dites, de fortes présomptions que cette grande chaleur de la terre n'a pu lui être communiquée de loin, et que par conséquent la matière terrestre a fait autrefois partie de la masse du soleil; mais il ne paroît pas également prouvé que la chaleur de cet astre sur la terre ne soit aujourd'hui que $^1/_{50}$ de la chaleur propre du globe. Le témoignage de nos sens semble se refuser à cette opinion que vous donnez comme une vérité constante; et quoiqu'on ne puisse pas douter que la terre n'ait une chaleur propre qui nous est démontrée par sa température toujours égale dans tous les lieux

profonds où le froid de l'air ne peut communiquer, en résulte-t-il que cette chaleur, qui ne nous paroît être qu'une température médiocre, soit néanmoins cinquante fois plus grande que la chaleur du soleil, qui semble nous brûler?

Je puis satisfaire pleinement à ces objections; mais il faut auparavant réfléchir avec moi sur la nature de nos sensations. Une différence très légère et souvent imperceptible, dans la réalité ou dans la mesure des causes qui nous affectent, en produit une prodigieuse dans leurs effets. Y a-t-il rien de plus voisin du très grand plaisir que la douleur? et qui peut assigner la distance entre le chatouillement vif qui nous remue délicieusement et le frottement qui nous blesse, entre le feu qui nous réchauffe et celui qui nous brûle, entre la lumière qui réjouit nos yeux et celle qui les offusque, entre la saveur qui flatte notre goût et celle qui nous déplaît, entre l'odeur dont une petite dose nous affecte agréablement d'abord, et bientôt nous donne des nausées? On doit donc cesser d'être étonné qu'une petite augmentation de chaleur telle que $^1/_{50}$ puisse nous paroître si sensible, et que les limites du plus grand chaud de l'été au plus grand froid de l'hiver soient entre 7 et 8, comme l'a dit M. Amontons, ou même entre 31 et 32, comme M. de Mairan l'a trouvé en prenant tous les résultats des observations faites sur cela pendant cinquante-six années consécutives.

Mais il faut avouer que si l'on vouloit juger de la chaleur réelle du globe d'après les rapports que ce dernier auteur nous a donnés des émanations de la chaleur terrestre aux accessions de la chaleur solaire

dans ce climat, il se trouveroit que leurs rapports étant à peu près :: 29 : 1 en été, et :: 471 ou même :: 491 en hiver : 1; il se trouveroit, dis-je, en joignant ces deux rapports, que la chaleur solaire ne seroit à la chaleur terrestre que :: $\frac{1}{500}$: 2, ou :: $\frac{1}{250}$: 1. Mais cette estimation seroit fautive, et l'erreur deviendroit d'autant plus grande que les climats seroient plus froids. Il n'y a donc que celui de l'équateur jusqu'aux tropiques où, la chaleur étant en toutes saisons presque égale, on puisse établir avec fondement la proportion entre la chaleur des émanations de la terre et des accessions de la chaleur solaire. Or ce rapport, dans tout ce vaste climat, où les étés et les hivers sont presque égaux, est à très peu près :: 50 : 1. C'est par cette raison que j'ai adopté cette proportion, et que j'en ai fait la base du calcul de mes recherches.

Néanmoins je ne prétends pas assurer affirmativement que la chaleur propre de la terre soit réellement cinquante fois plus grande que celle qui lui vient du soleil; comme cette chaleur du globe appartient à toute la matière terrestre, dont nous faisons partie, nous n'avons point de mesure que nous puissions en séparer, ni par conséquent d'unité sensible et réelle à laquelle nous puissions la rapporter. Mais, quand même on voudroit que la chaleur solaire fût plus grande ou plus petite que nous ne l'avons supposée relativement à la chaleur terrestre, notre théorie ne changeroit que par la proportion des résultats.

Par exemple, si nous renfermons toute l'étendue de nos sensations du plus grand chaud au plus grand froid dans les limites données par les observations de

M. Amontons, c'est-à-dire entre 7 et 8 ou dans $^1/_8$, et qu'en même temps nous supposions que la chaleur du soleil peut produire seule cette différence de nos sensations, on aura dès lors la proportion de 8 à 1 de la chaleur propre du globe terrestre à celle qui lui vient du soleil, et par conséquent la compensation que fait actuellement sur la terre cette chaleur du soleil seroit de $^1/_8$, et la compensation qu'elle a faite dans le temps de l'incandescence aura été $\frac{1}{200}$. Ajoutant ces deux termes, on a $\frac{16}{200}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{325}{200}$ ou 1 $^5/_8$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant la période de 74047 ans du refroidissement de la terre à la température actuelle; et comme la perte totale de la chaleur propre est à la compensation totale en même raison que le temps de la période est à celui du refroidissement, on aura 25 : 1 $^5/_8$ :: 74047 : 4813 $^1/_{25}$; en sorte que le refroidissement du globe de la terre, au lieu de n'avoir été prolongé que de 770 ans, l'auroit été de 4813 $^1/_{25}$ ans; ce qui, joint au prolongement plus long que produiroit aussi la chaleur de la lune dans cette supposition, donneroit plus de 5000 ans, dont il faudroit encore reculer la date de la formation des planètes.

Si l'on adopte les limites données par M. de Mairan, qui sont de 31 à 32, et qu'on suppose que la chaleur solaire n'est que $^1/_{32}$ de celle de la terre, on n'aura que le quart de ce prolongement, c'est-à-dire environ 1250 ans, au lieu de 770 que donne la supposition de $^1/_{50}$ que nous avons adoptée.

Mais au contraire, si l'on supposoit que la chaleur

du soleil n'est que $\frac{1}{150}$ de celle de la terre, comme cela paroît résulter des observations faites au climat de Paris, on auroit pour la compensation dans le temps de l'incandescence $\frac{1}{6250}$ et $\frac{616}{250}$ pour la compensation à la fin de la période de 74047 ans refroidissement du globe terrestre à la température actuelle, et l'on trouveroit $\frac{13}{250}$ pour la compensation totale faite par la chaleur du soleil pendant cette période ; ce qui ne donneroit que 154 ans, c'est-à-dire le cinquième de 770 pour le temps du prolongement du refroidissement. Et de même, si, au lieu de $^1/_{50}$, nous supposions que la chaleur solaire fût $^1/_{10}$ de la chaleur terrestre, nous trouverions que le temps du prolongement seroit cinq fois plus long, c'est-à-dire de 3850 ans ; en sorte que plus on voudra augmenter la chaleur qui nous vient du soleil, relativement à celle qui émane de la terre, et plus on étendra la durée de la nature, et l'on reculera le terme de l'antiquité du monde : car, en supposant que cette chaleur du soleil sur la terre fût égale à la chaleur propre du globe, on trouveroit que le temps du prolongement seroit de 38504 ans ; ce qui par conséquent donneroit à la terre 39 mille ans d'ancienneté de plus.

Si l'on jette les yeux sur la table que M. de Mairan a dressée avec grande exactitude, et dans laquelle il donne la proportion de la chaleur qui nous vient du soleil à celle qui émane de la terre dans tous les climats, on y reconnoîtra d'abord un fait bien avéré, c'est que dans tous les climats où l'on a fait des observations les étés sont égaux, tandis que les hivers sont prodigieusement inégaux. Ce savant physicien attribue cette égalité constante de l'intensité de la

chaleur pendant l'été, dans tous les climats, à la compensation réciproque de la chaleur solaire, et de la chaleur des émanations du feu central : « Ce n'est donc pas ici (dit-il, page 253) une affaire de choix, de système ou de convenance, que cette marche alternativement décroissante et croissante des émanations centrales en inverse des étés solaires ; c'est le fait même, etc. » en sorte que, selon lui, les émanations de la chaleur de la terre croissent ou décroissent précisément dans la même raison que l'action de la chaleur du soleil décroît et croît dans les différents climats ; et comme cette proportion d'acroissement et de décroissement entre la chaleur terrestre et la chaleur solaire lui paroît, avec raison, très étonnante suivant sa théorie, et qu'en même temps il ne peut pas douter du fait, il tâche de l'expliquer en disant que « le globe terrestre étant d'abord une pâte molle de terre et d'eau, venant à tourner sur son axe, et continuellement exposée aux rayons du soleil, selon tous les aspects annuels des climats, s'y sera durci vers la surface ; et d'autant plus profondément que ses parties y seront plus exactement exposées. Et si un terrain plus dur, plus compacte, plus épais, et en général plus difficile à pénétrer, devient dans ces mêmes rapports un obstacle d'autant plus grand aux émanations du feu intérieur de la terre, *comme il est évident que cela doit arriver*, ne voilà-t-il pas dès lors ces obstacles en raison directe des différentes chaleurs de l'été solaire, et les émanations centrales en inverse de ces mêmes chaleurs ? Et qu'est-ce alors autre chose que l'égalité universelle des étés ? car supposant ces obstacles ou ces retranchements de chaleur

faits à l'émanation constante et primitive, exprimés par les valeurs mêmes des étés solaires, c'est-à-dire dans la plus parfaite et la plus visible de toutes les proportionnalités, l'égalité, il est clair qu'on ne retranche d'un côté à la même grandeur que ce qu'on y ajoute de l'autre, et que par conséquent les sommes ou les étés en seront toujours et partout les mêmes. Voilà donc, ajoute-t-il, cette égalité surprenante des étés, dans tous les climats de la terre, ramenée à un principe intelligible; soit que la terre, d'abord fluide, ait été durcie ensuite par l'action du soleil, du moins vers les dernières couches qui la composent; soit que Dieu l'ait créée tout d'un coup dans l'état où les causes physiques et les lois du mouvement l'auroient amenée. » Il me semble que l'auteur auroit mieux fait de s'en tenir bonnement à cette dernière cause, qui dispense de toute recherche et de toutes spéculations, que de donner une explication qui pèche non seulement dans le principe, mais dans presque tous les points des conséquences qu'on en pourroit tirer.

Car y a-t-il rien de plus indépendant l'un de l'autre que la chaleur qui appartient en propre à la terre, et celle qui lui vient du dehors? Est-il naturel, est-il même raisonnable d'imaginer qu'il existe réellement dans la nature une loi de calcul par laquelle les émanations de cette chaleur intérieure du globe suivroient exactement l'inverse des accessions de la chaleur du soleil sur la terre, et cela dans une proportion si précise, que l'augmentation des unes compenseroit exactement la diminution des autres? Il ne faut qu'un peu de réflexion pour se convaincre que ce rapport purement idéal n'est nullement fondé, et que par consé-

quent le fait très réel de l'égalité des étés, ou de l'égale intensité de chaleur en été, dans tous les climats, ne dérive pas de cette combinaison précaire dont ce physicien fait un principe, mais d'une cause toute différente que nous allons exposer.

Pourquoi dans tous les climats de la terre où l'on a fait des observations suivies avec des thermomètres comparables, se trouve-t-il que les étés (c'est-à-dire l'intensité de la chaleur en été) sont égaux, tandis que les hivers (c'est-à-dire l'intensité de la chaleur en hiver) sont prodigieusement différents et d'autant plus inégaux qu'on s'avance plus vers les zones froides? Voilà la question. Le fait est vrai : mais l'explication qu'en donne l'habile physicien que je viens de citer me paroît plus que gratuite; elle nous renvoie directement aux causes finales qu'il croyoit éviter : car n'est-ce pas nous dire, pour toute explication, que le soleil et la terre ont d'abord été dans un état tel, que la chaleur de l'un pouvoit cuire les couches extérieures de l'autre, et les durcir précisément à un tel degré, que les émanations de la chaleur terrestre trouveroient toujours des obstacles à leur sortie, qui seroient exactement en proportion des facilités avec lesquelles la chaleur du soleil arrive à chaque climat; et que de cette admirable contexture des couches de la terre, qui permettent plus ou moins l'issue des émanations du feu central, il résulte sur la surface de la terre une compensation exacte de la chaleur solaire et de la chaleur terrestre, ce qui néanmoins rendoit les hivers égaux partout aussi bien que les étés; mais que dans la réalité, comme il n'y a que les étés d'égaux dans tous les climats, et que les hivers y sont,

au contraire, prodigieusement inégaux, il faut bien que ces obstacles mis à la liberté des émanations centrales soient encore plus grands qu'on ne vient de les supposer, et qu'ils soient en effet et très réellement dans la proportion qu'exige l'inégalité des hivers des différents climats? Or qui ne voit que ces petites combinaisons ne sont point entrées dans le plan du souverain Être, mais seulement dans la tête du physicien, qui, ne pouvant expliquer cette égalité des étés et cette inégalité des hivers, a eu recours à deux suppositions qui n'ont aucun fondement, et à des combinaisons qui n'ont pu même, à ses yeux, avoir d'autre mérite que celui de s'accommoder à sa théorie, et de ramener, comme il le dit, cette inégalité *surprenante* des étés à un *principe intelligible?* Mais ce principe une fois entendu n'est qu'une combinaison de deux suppositions qui toutes deux sont de l'ordre de celles qui rendroient possible l'impossible, et dès lors présenteroient en effet l'absurde comme intelligible.

Tous les physiciens qui se sont occupés de cet objet conviennent avec moi que le globe terrestre possède en propre une chaleur indépendante de celle qui lui vient du soleil : dès lors n'est-il pas évident que cette chaleur propre seroit égale sous tous les points de la surface du globe, abstraction faite de celle du soleil, et qu'il n'y auroit d'autre différence à cet égard que celle qui doit résulter du renflement de la terre à l'équateur, et de son aplatissement sous les pôles? différence qui étant en même raison à peu près que les deux diamètres n'excède pas $\frac{1}{230}$; en sorte que la chaleur propre du sphéroïde terrestre doit être de $\frac{1}{230}$ plus grande sous l'équateur que sous les pôles. La dé-

perdition qui s'en est faite et le temps du refroidissement doit donc avoir été plus prompt dans les climats septentrionaux, où l'épaisseur du globe est moins grande que dans les climats du midi; mais cette différence de $\frac{1}{230}$ ne peut pas produire celle de l'inégalité des émanations centrales, dont le rapport à la chaleur du soleil en hiver, étant :: 50 : 1 dans les climats voisins de l'équateur, se trouve déjà double au 27e degré, triple au 35e, quadruple au 40e, décuple au 49e, et 35 fois plus grand au 60e degré de latitude. Cette cause qui se présente la première, contribue au froid des climats septentrionaux; mais elle est insuffisante pour l'effet de l'inégalité des hivers, puisque cet effet seroit 35 fois plus grand que sa cause au 60e degré, plus grand encore et même excessif dans les climats plus voisins du pôle, et qu'en même temps il ne seroit nulle part proportionnel à cette même cause.

D'autre côté, ce seroit sans aucun fondement qu'on voudroit soutenir que dans un globe qui a reçu ou qui possède un certain degré de chaleur il pourroit y avoir des parties beaucoup moins chaudes les unes que les autres. Nous connoissons assez le progrès de la chaleur et les phénomènes de sa communication pour être assurés qu'elle se distribue toujours également, puisqu'en appliquant un corps, même froid, sur un corps chaud, celui-ci communiquera nécessairement à l'autre assez de chaleur pour que tous deux soient bientôt au même degré de température. L'on ne doit donc pas supposer qu'il y ait, vers le climat des pôles, des couches de matières moins chaudes, moins perméables à la chaleur, que dans les autres

climats; car, de quelque nature qu'on les voulût supposer, l'expérience nous démontre qu'en un très petit temps elles seroient devenues aussi chaudes que les autres.

Les grands froids du nord ne viennent donc pas de ces prétendus obstacles qui s'opposeroient à la sortie de la chaleur, ni de la petite différence que doit produire celle des diamètres du sphéroïde terrestre, et il m'a paru, après y avoir réfléchi, qu'on devoit attribuer l'égalité des étés et la grande inégalité des hivers à une cause bien plus simple, et qui néanmoins a échappé à tous les physiciens.

Il est certain que, comme la chaleur propre de la terre est beaucoup plus grande que celle qui lui vient du soleil, les étés doivent paroître à très peu près égaux partout, parce que cette même chaleur du soleil ne fait qu'une petite augmentation au fond réel de la chaleur propre, et que par conséquent, si cette chaleur envoyée du soleil n'est que $^1/_{50}$ de la chaleur propre du globe, le plus ou moins de séjour de cet astre sur l'horizon, sa plus grande ou sa moindre obliquité sur le climat, et même son absence totale ne produiroit que $^1/_{50}$ de différence sur la température du climat, et que dès lors les étés doivent paroître et sont en effet à très peu près égaux dans tous les climats de la terre. Mais ce qui fait que les hivers sont si fort inégaux c'est que les émanations de cette chaleur intérieure du globe se trouvent en très grande partie supprimées dès que le froid et la gelée resserrent et consolident la surface de la terre et des eaux. Comme cette chaleur qui sort du globe décroît dans les airs à mesure et en même raison que l'espace aug-

mente, elle a déjà beaucoup perdu à une demi-lieue ou une lieue de hauteur; la seule condensation de l'air par cette cause suffit pour produire des vents froids qui, se rabattant sur la surface de la terre, la resserrent et la gèlent[1]. Tant que dure ce resserrement de la couche extérieure de la terre, les émanations de la chaleur intérieure sont retenues, et le froid paroît et est en effet très considérablement augmenté par cette suppression d'une partie de cette chaleur : mais dès que l'air devient plus doux, et que la couche superficielle du globe perd sa rigidité, la chaleur retenue pendant tout le temps de la gelée sort en plus grande abondance que dans les climats où il ne gèle pas, en sorte que la somme des émanations de la chaleur devient égale et la même partout; et c'est par cette raison que les plantes végètent plus vite et que les récoltes se font en beaucoup moins de temps dans les pays du nord; c'est par la même raison qu'on y ressent souvent, au commencement de l'été, des chaleurs insoutenables, etc.

Si l'on vouloit douter de la suppression des émanations de la chaleur intérieure par l'effet de la gelée, il ne faut, pour s'en convaincre, que se rappeler des faits connus de tout le monde. Qu'après une gelée il tombe de la neige, on la verra se fondre sur tous les puits, les aqueducs, les citernes, les ciels de carrière, les voûtes des fosses souterraines ou des gale-

1. On s'aperçoit de ces vents rabattus toutes les fois qu'il doit geler ou tomber de la neige; le vent, sans même être très violent, se rabat par les cheminées, et chasse dans la chambre les cendres du foyer : cela ne manque jamais d'arriver, surtout pendant la nuit, lorsque le feu est éteint ou couvert.

ries des mines, lors même que ces profondeurs, ces puits ou ces citernes ne contiennent point d'eau. Les émanations de la terre ayant leur libre issue par ces espèces de cheminées, le terrain qui en recouvre le sommet n'est jamais gelé au même degré que la terre pleine; il permet aux émanations leur cours ordinaire, et leur chaleur suffit pour fondre la neige sur tous ces endroits creux, tandis qu'elle subsiste et demeure sur tout le reste de la surface où la terre n'est point excavée.

Cette suppression des émanations de la chaleur propre de la terre se fait non seulement par la gelée, mais encore par le simple resserrement de la terre, souvent occasioné par un moindre degré de froid que celui qui est nécessaire pour en geler la surface. Il y a très peu de pays où il gèle dans les plaines au delà du 35e degré de latitude, surtout dans l'hémisphère boréal; il semble donc que, depuis l'équateur jusqu'au 35e degré, les émanations de la chaleur terrestre ayant toujours leur libre issue, il ne devroit y avoir presque aucune différence de l'hiver à l'été, puisque cette différence ne pourroit provenir que de deux causes, toutes deux trop petites pour produire un résultat sensible. La première de ces causes est la différence de l'action solaire: mais comme cette action elle-même est beaucoup plus petite que celle de la chaleur terrestre, leur différence devient dès lors si peu considérable, qu'on peut la regarder comme nulle. La seconde cause est l'épaisseur du globe, qui, vers le 35e degré, est à peu près de $\frac{1}{500}$ moindre qu'à l'équateur: mais cette différence ne peut encore produire qu'un très petit effet, qui n'est nullement proportionnel à

celui que nous indiquent les observations, puisqu'à 35 degrés le rapport des émanations de la chaleur terrestre à la chaleur solaire est en été de 33 à 1, et en hiver de 153 à 1; ce qui donneroit 186 à 2, ou 93 à 1. Ce ne peut donc être qu'au resserrement de la terre occasioné par le froid, ou même au froid produit par les pluies durables qui tombent dans ces climats, qu'on peut attribuer cette différence de l'hiver à l'été : le resserrement de la terre par le froid supprime une partie des émanations de la chaleur intérieure, et le froid, toujours renouvelé par la chute des pluies, diminue l'intensité de cette même chaleur; ces deux causes produisent donc ensemble la différence de l'hiver à l'été.

D'après cet exposé, il me semble que l'on est maintenant en état d'entendre pourquoi les hivers semblent être si différents. Ce point de physique générale n'avoit jamais été discuté; personne, avant M. de Mairan, n'avoit même cherché les moyens de l'expliquer, et nous avons démontré précédemment l'insuffisance de l'explication qu'il en donne : la mienne, au contraire, me paroît si simple et si bien fondée, que je ne doute pas qu'elle ne soit entendue par tous les bons esprits.

Après avoir prouvé que la chaleur qui nous vient du soleil est fort inférieure à la chaleur propre de notre globe; après avoir exposé qu'en ne la supposant que de $1/_{50}$ le refroidissement du globe à la température actuelle n'a pu se faire qu'en 74832 ans; après avoir montré que le temps de ce refroidissement seroit encore plus long, si la chaleur envoyée par le soleil à la terre étoit dans un rapport plus grand, c'est-

à-dire de $^1/_{25}$ ou de $^1/_{10}$ au lieu de $^1/_{50}$, on ne pourra pas nous blâmer d'avoir adopté la proportion qui nous paroît la plus plausible par les raisons physiques, et en même temps la plus concevable, pour ne pas trop étendre et reculer trop loin les temps du commencement de la nature, que nous avons fixé à 37 ou 38 mille ans, à dater en arrière de ce jour.

J'avoue néanmoins que ce temps, tout considérable qu'il est, ne me paroît pas encore assez grand, assez long pour certains changements, certaines altérations successives que l'histoire naturelle nous démontre, et qui semblent avoir exigé une suite de siècles encore plus longue : je serois donc très porté à croire que, dans le réel, les temps ci-devant indiqués pour la durée de la nature doivent être augmentés peut-être du double, si l'on veut se trouver à l'aise pour l'explication de tous les phénomènes. Mais, je le répète, je m'en suis tenu aux moindres termes, et j'ai restreint les limites du temps autant qu'il étoit possible de le faire sans contredire les faits et les expériences.

On pourra peut-être chicaner ma théorie par une autre objection qu'il est bon de prévenir. On me dira que j'ai supposé, d'après Newton, la chaleur de l'eau bouillante trois fois plus grande que celle du soleil d'été, et la chaleur du fer rouge huit fois plus grande que celle de l'eau bouillante, c'est-à-dire vingt-quatre ou vingt-cinq fois plus grande que celle de la température actuelle de la terre, et qu'il entre de l'hypothétique dans cette supposition, sur laquelle j'ai néanmoins fondé la seconde base de mes calculs, dont les résultats seroient sans doute fort différents, si cette chaleur du fer rouge ou du verre en incan-

descence, au lieu d'être en effet vingt-cinq fois plus grande que la chaleur actuelle du globe, n'étoit, par exemple, que cinq ou six fois aussi grande.

Pour sentir la valeur de cette objection, faisons d'abord le calcul du refroidissement de la terre, dans cette supposition qu'elle n'étoit dans le temps de l'incandescence que cinq fois plus chaude qu'elle ne l'est aujourd'hui, en supposant, comme dans les autres calculs, que la chaleur solaire n'est que $^1/_{50}$ de la chaleur terrestre. Cette chaleur solaire, qui fait aujourd'hui compensation de $^1/_{50}$, n'auroit fait compensation que de $\frac{1}{250}$ dans le temps de l'incandescence. Ces deux termes ajoutés donnent $\frac{6}{250}$, qui multipliés par 12 $^1/_2$, moitié de la somme de tous les termes de la diminution de la chaleur, donnent $\frac{15}{250}$ pour la compensation totale qu'a faite la chaleur du soleil pendant la période entière de la déperdition de la chaleur propre du globe, qui est de 74047 ans. Ainsi l'on aura $5 : \frac{15}{250} :: 74047 : 888\frac{14}{25}$: d'où l'on voit que le prolongement du refroidissement, qui, par une chaleur vingt-cinq fois plus grande que la température actuelle, n'a été que de 770 ans, auroit été de 888 $^{14}/_{25}$ dans la supposition que cette première chaleur n'auroit été que cinq fois plus grande que cette même température actuelle. Cela seul nous fait voir que, quand même on voudroit supposer cette chaleur primitive fort au dessous de vingt-cinq, il n'en résulteroit qu'un prolongement plus long pour le refroidissement du globe, et cela seul me paroît suffire aussi pour satisfaire à l'objection.

Enfin, me dira-t-on, vous avez calculé la durée du refroidissement des planètes, non seulement par la

raison inverse de leurs diamètres, mais encore par la raison inverse de leur densité; cela seroit fondé si l'on pouvoit imaginer qu'il existe en effet des matières dont la densité seroit aussi différente de celle de notre globe; mais en existe-t-il? quelle sera, par exemple, la matière dont vous composerez Saturne, puisque sa densité est plus de cinq fois moindre que celle de la terre?

A cela je réponds qu'il seroit aisé de trouver, dans le genre végétal, des matières cinq ou six fois moins denses qu'une masse de fer, de marbre blanc, de grès, de marbre commun, et de pierre calcaire dure, dont nous savons que la terre est principalement composée : mais sans sortir du règne minéral, et considérant la densité de ces cinq matières, on a pour celle du fer 21 $^{10}/_{72}$, pour celle du marbre blanc 8 $^{25}/_{72}$, pour celle du grès 7 $^{24}/_{72}$, pour celle du marbre commun et de la pierre calcaire dure 7 $^{20}/_{72}$; prenant le terme moyen des densités de ces cinq matières, dont le globe terrestre est principalement composé, on trouve que sa densité est 10 $^{3}/_{18}$. Il s'agit donc de trouver une matière dont la densité soit 1 $\frac{891\,^{1}/_{9}}{1000}$; ce qui est le même rapport de 184, densité de Saturne, à 1000, densité de la terre. Or cette matière seroit une espèce de pierre ponce un peu moins dense que la pierre ponce ordinaire, dont la densité relative est ici de 1 $^{69}/_{72}$; il paroît donc que Saturne est principalement composé d'une matière légère semblable à la pierre ponce.

De même, la densité de la terre étant à celle de Jupiter :: 1000 : 292, ou :: 10 $^{5}/_{18}$: 3 $\frac{1\,^{1}/_{9}}{1000}$, on doit

croire que Jupiter est composé d'une matière plus dense que la pierre ponce, et moins dense que la craie.

La densité de la terre étant à celle de la lune :: 1000 : 702, ou :: 10 $^5/_{18}$: 7 $\frac{213}{1000}$, cette planète secondaire est composée d'une matière dont la densité n'est pas tout-à-fait si grande que celle de la pierre calcaire dure, mais plus grande que celle de la pierre calcaire tendre.

La densité de la terre étant à celle de Mars :: 1000 : 730, ou :: 10 $^5/_{18}$: 7 $\frac{502\,^1/_9}{1000}$, on doit croire que cette planète est composée d'une matière dont la densité est un peu plus grande que celle du grès, et moins grande que celle du marbre blanc.

Mais la densité de la terre étant à celle de Vénus :: 1000 : 1270, ou :: 10 $^5/_{18}$: 13 $\frac{527\,^7/_9}{1000}$, on peut croire que cette planète est principalement composée d'une matière plus dense que l'émeril, et moins dense que le zinc.

Enfin la densité de la terre étant à celle de Mercure :: 1000 : 2040, ou :: 10 $^5/_{18}$: 20 $\frac{966\,^2/_3}{1000}$, on doit croire que cette planète est composée d'une matière un peu moins dense que le fer, mais plus dense que l'étain.

Hé! comment, dira-t-on, la nature vivante que vous supposez établie partout peut-elle exister sur des planètes de fer, d'émeril, ou de pierre ponce? Par les mêmes causes, répondrai-je, et par les mêmes moyens qu'elle existe sur le globe terrestre, quoique composé de pierre, de grès, de marbre, de fer, et de verre. Il en est des autres planètes comme de

notre globe : leur fonds principal est une des matières que nous venons d'indiquer ; mais les causes extérieures auront bientôt altéré la couche superficielle de cette matière, et, selon les différents degrés de chaleur ou de froid, de sécheresse ou d'humidité, elles auront converti en assez peu de temps cette matière, de quelque nature qu'on la suppose, en une terre féconde et propre à recevoir les germes de la nature organisée, qui tous n'ont besoin que de chaleur et d'humidité pour se développer.

Après avoir satisfait aux objections qui paroissent se présenter les premières, il est nécessaire d'exposer les faits, et les observations par lesquelles on s'est assuré que la chaleur du soleil n'est qu'un accessoire, un petit complément à la chaleur réelle qui émane continuellement du globe de la terre ; et il sera bon de faire voir en même temps comment les thermomètres comparables nous ont appris, d'une manière certaine, que le chaud de l'été est égal dans tous les climats de la terre, à l'exception de quelques endroits, comme le Sénégal, et de quelques autres parties de l'Afrique où la chaleur est plus grande qu'ailleurs, par des raisons particulières dont nous parlerons lorsqu'il s'agira d'examiner les exceptions à cette règle générale.

On peut démontrer par des évaluations incontestables, que la lumière, et par conséquent la chaleur envoyée du soleil à la terre en été, est très grande en comparaison de la chaleur envoyée par ce même astre en hiver, et que néanmoins, par des observations très exactes et très réitérées, la différence de la chaleur réelle de l'été à celle de l'hiver est fort petite. Cela seul seroit suffisant pour prouver qu'il existe dans le

globe terrestre une très grande chaleur, dont celle du soleil ne fait que le complément; car, en recevant les rayons du soleil sur le même thermomètre en été et en hiver, M. Amontons a le premier observé que les plus grandes chaleurs de l'été, dans notre climat, ne diffèrent du froid de l'hiver, lorsque l'eau se congèle, que comme 7 diffère de 6, tandis qu'on peut démontrer que l'action du soleil en été est environ 66 fois plus grande que celle du soleil en hiver : on ne peut donc pas douter qu'il n'y ait un fonds de très grande chaleur dans le globe terrestre, sur lequel, comme base, s'élèvent les degrés de la chaleur qui nous vient du soleil, et que les émanations de ce fonds de chaleur à la surface du globe ne nous donnent une quantité de chaleur beaucoup plus grande que celle qui nous arrive du soleil.

Si l'on demande comment on a pu s'assurer que la chaleur envoyée par le soleil en été est 66 fois plus grande que la chaleur envoyée par ce même astre en hiver dans notre climat, je ne puis mieux répondre qu'en renvoyant aux Mémoires donnés par feu M. de Mairan en 1719, 1722, et 1765, et insérés dans ceux de l'Académie, où il examine avec une attention scrupuleuse les causes de la vicissitude des saisons dans les différents climats. Ces causes peuvent se réduire à quatre principales; savoir, 1° l'inclinaison sous laquelle tombe la lumière du soleil suivant les différentes hauteurs de cet astre sur l'horizon; 2° l'intensité de la lumière, plus ou moins grande à mesure que son passage dans l'atmosphère est plus ou moins oblique; 3° la différente distance de la terre au soleil en été et en hiver; 4° l'inégalité de la longueur des

jours dans les climats différents. Et en partant du principe que la quantité de la chaleur est proportionnelle à l'action de la lumière, on se démontrera aisément à soi-même que ces quatre causes réunies, combinées, et comparées, diminuent pour notre climat cette action de la chaleur du soleil dans un rapport d'environ 66 à 1 du solstice d'été au solstice d'hiver. Et en supposant l'affoiblissement de l'action de la lumière par ces quatre causes, c'est-à-dire, 1° par la moindre ascension ou élévation du soleil à midi du solstice d'hiver, en comparaison de son ascension à midi du solstice d'été; 2° par la diminution de l'intensité de la lumière, qui traverse plus obliquement l'atmosphère au solstice d'hiver qu'au solstice d'été; 3° par la plus grande proximité de la terre au soleil en hiver qu'en été; 4° par la diminution de la continuité de la chaleur produite par la moindre durée du jour ou par la plus longue absence du soleil au solstice d'hiver, qui, dans notre climat, est à peu près double de celle du solstice d'été, on ne pourra pas douter que la différence ne soit en effet très grande, et environ de 66 à 1 dans notre climat; et cette vérité de théorie peut être regardée comme aussi certaine que la seconde vérité, qui est d'expérience, et qui nous démontre, par les observations du thermomètre exposé immédiatement aux rayons du soleil en hiver et en été, que la différence de la chaleur réelle, dans ces deux temps, n'est néanmoins tout au plus que de 7 à 6. Je dis tout au plus; car cette détermination donnée par M. Amontons n'est pas, à beaucoup près, aussi exacte que celle qui a été faite par M. de Mairan, d'après un grand nombre d'observations ultérieu-

res, par lesquelles il prouve que ce rapport est :: 32 : 31. Que doit donc indiquer cette prodigieuse inégalité entre ces deux rapports de l'action de la chaleur solaire en été et en hiver, qui est de 66 à 1, et de celui de la chaleur réelle, qui n'est que de 32 à 31 de l'été à l'hiver? N'est-il pas évident que la chaleur propre du globe de la terre est nombre de fois plus grande que celle qui lui vient du soleil? Il paroît en effet que, dans le climat de Paris, cette chaleur de la terre est 29 fois plus grande en été, et 491 fois plus grande en hiver que celle du soleil, comme l'a déterminé M. de Mairan. Mais j'ai déjà averti qu'on ne devoit pas conclure, de ces deux rapports combinés, le rapport réel de la chaleur du globe de la terre à celle qui lui vient du soleil, et j'ai donné les raisons qui m'ont décidé à supposer qu'on peut estimer cette chaleur du soleil cinquante fois moindre que la chaleur qui émane de la terre.

Il nous reste maintenant à rendre compte des observations faites avec les thermomètres. On a recueilli, depuis l'année 1710 jusqu'en 1756 inclusivement, le degré du plus grand chaud et celui du plus grand froid qui s'est fait à Paris chaque année : on en a fait une somme, et l'on a trouvé que, année commune, tous les thermomètres réduits à la division de Réaumur ont donné 1026 pour la grande chaleur de l'été, c'est-à-dire 26 degrés au dessus du point de la congélation de l'eau ; on a trouvé de même que le degré commun du plus grand froid de l'hiver a été, pendant ces cinquante-six années, de 994, ou de 6 degrés au dessous de la congélation de l'eau : d'où l'on a conclu, avec raison, que le plus grand chaud de nos étés à Paris

ne diffère du plus grand froid de nos hivers que de $1/_{32}$, puisque 994 : 1026 :: 31 : 32. C'est sur ce fondement que nous avons dit que le rapport du plus grand chaud au plus grand froid n'étoit que :: 32 : 31. Mais on peut objecter contre la précision de cette évaluation le défaut de construction du thermomètre, division de Réaumur, auquel on réduit ici l'échelle de tous les autres ; et ce défaut est de ne partir que de mille degrés au dessous de la glace, comme si ce millième degré étoit en effet celui du froid absolu, tandis que le froid absolu n'existe point dans la nature, et que celui de la plus petite chaleur devroit être supposé de dix mille au lieu de mille, ce qui changeroit la graduation du thermomètre. On peut encore dire qu'à la vérité il n'est pas impossible que toutes nos sensations entre le plus grand chaud et le plus grand froid soient comprises dans un aussi petit intervalle que celui d'une unité sur 32 de chaleur, mais que la voix du sentiment semble s'élever contre cette opinion, et nous dire que cette limite est trop étroite, et que c'est bien assez réduire cet intervalle que de lui donner un huitième ou un septième au lieu d'un trente-deuxième.

Mais quoi qu'il en soit de cette évaluation, qui se trouvera peut-être encore trop forte lorsqu'on aura des thermomètres mieux construits, on ne peut pas douter que la chaleur de la terre, qui sert de base à la chaleur réelle que nous éprouvons, ne soit très considérablement plus grande que celle qui nous vient du soleil, et que cette dernière n'en soit qu'un petit complément. De même, quoique les thermomètres dont on s'est servi pèchent par le principe de leur

construction et par quelques autres défauts dans leur graduation, on ne peut pas douter de la vérité des faits comparés que nous ont appris les observations faites en différents pays avec ces mêmes thermomètres construits et gradués de la même façon, parce qu'il ne s'agit ici que de vérités relatives et de résultats comparés, et non pas de vérités absolues.

Or, de la même manière qu'on a trouvé, par l'observation de cinquante-six années successives, la chaleur de l'été à Paris de 1026 ou de 26 degrés au dessus de la congélation, on a aussi trouvé avec les mêmes thermomètres que cette chaleur de l'été étoit 1026 dans tous les autres climats de la terre, depuis l'équateur jusque vers le cercle polaire : à Madagascar, aux îles de France et de Bourbon, à l'île Rodrigue, à Siam, aux Indes orientales, à Alger, à Malte, à Cadix, à Montpellier, à Lyon, à Amsterdam, à Varsovie, à Upsal, à Pétersbourg, et jusqu'en Laponie près du cercle polaire; à Cayenne, au Pérou, à la Martinique, à Carthagène en Amérique, et à Panama; enfin, dans tous les climats des deux hémisphères et des deux continents où l'on a pu faire des observations, on a constamment trouvé que la liqueur du thermomètre s'élevoit également à 25, 26, ou 27 degrés dans les jours les plus chauds de l'été; et de là résulte le fait incontestable de l'égalité de la chaleur en été dans tous les climats de la terre. Il n'y a sur cela d'autres exceptions que celle du Sénégal et de quelques autres endroits où le thermomètre s'élève 5 ou 6 degrés de plus, c'est-à-dire à 31 ou 32 degrés; mais c'est par des causes accidentelles et locales, qui n'altèrent point la vérité des observations ni la certitude de ce fait gé-

néral, lequel seul pourroit encore nous démontrer qu'il existe réellement une très grande chaleur dans le globe terrestre, dont l'effet ou les émanations sont à peu près égales dans tous les points de sa surface, et que le soleil, bien loin d'être la sphère unique de la chaleur qui anime la nature, n'en est tout au plus que le régulateur.

Ce fait important, que nous consignons à la postérité, lui fera reconnoître la progression réelle de la diminution de la chaleur du globe terrestre, que nous n'avons pu déterminer que d'une manière hypothétique : on verra, dans quelques siècles, que la plus grande chaleur de l'été, au lieu d'élever la liqueur du thermomètre à 26, ne l'élevera plus qu'à 25, à 24 ou au dessous, et on jugera par cet effet, qui est le résultat de toutes les causes combinées, de la valeur de chacune des causes particulières qui produisent l'effet total de la chaleur à la surface du globe; car, indépendamment de la chaleur qui appartient en propre à la terre et qu'elle possède dès le temps de l'incandescence, chaleur dont la quantité est très considérablement diminuée et continuera de diminuer dans la succession des temps, indépendamment de la chaleur qui nous vient du soleil, qu'on peut regarder comme constante, et qui par conséquent fera dans la suite une plus grande compensation qu'aujourd'hui à la perte de cette chaleur propre du globe, il y a encore deux autres causes particulières qui peuvent ajouter une quantité considérable de chaleur à l'effet des deux premières, qui sont les seules dont nous ayons fait jusqu'ici l'évaluation.

L'une de ces causes particulières provient en quel-

que façon de la première cause générale, et peut y ajouter quelque chose. Il est certain que dans le temps de l'incandescence, et dans tous les siècles subséquents, jusqu'à celui du refroidissement de la terre au point de pouvoir la toucher, toutes les matières volatiles ne pouvoient résider à la surface ni même dans l'intérieur du globe; elles étoient élevées et répandues en forme de vapeurs, et n'ont pu se déposer que successivement à mesure qu'il se refroidissoit. Ces matières ont pénétré par les fentes et les crevasses de la terre à d'assez grandes profondeurs en une infinité d'endroits : c'est là le fonds primitif des volcans, qui, comme l'on sait, se trouvent tous dans les hautes montagnes, où les fentes de la terre sont d'autant plus grandes, que ces pointes du globe sont plus avancées, plus isolées. Ce dépôt des matières volatiles du premier âge aura été prodigieusement augmenté par l'addition de toutes les matières combustibles, dont la formation est des âges subséquents. Les pyrites, les soufres, les charbons de terre, les bitumes, etc., ont pénétré dans les cavités de la terre, et ont produit presque partout de grands amas de matières inflammables, et souvent des incendies qui se manifestent par des tremblements de terre, par l'éruption des volcans, et par les sources chaudes qui découlent des montagnes ou sourdent à l'intérieur dans les cavités de la terre. On peut donc présumer que ces feux souterrains, dont les uns brûlent, pour ainsi dire, sourdement et sans explosion, et dont les autres éclatent avec tant de violence, augmentent un peu l'effet de la chaleur générale du globe : néanmoins cette addition de chaleur ne peut être que très petite,

car on a observé qu'il fait à très peu près aussi froid au dessus des volcans qu'au dessus des autres montagnes à la même hauteur, à l'exception des temps où le volcan travaille et jette au dehors des vapeurs enflammées ou des matières brûlantes. Cette cause particulière de chaleur ne me paroît donc pas mériter autant de considération que lui en ont donné quelques physiciens.

Il n'en est pas de même d'une seconde cause à laquelle il semble qu'on n'a pas pensé, c'est le mouvement de la lune autour de la terre. Cette planète secondaire fait sa révolution autour de nous en 27 jours un tiers environ, et, étant éloignée à 85 mille 325 lieues, elle parcourt une circonférence de 536 mille 329 lieues dans cet espace de temps, ce qui fait un mouvement de 817 lieues par heure, ou de 13 à 14 lieues par minute. Quoique cette marche soit peut-être la plus lente de tous les corps célestes, elle ne laisse pas d'être assez rapide pour produire sur la terre, qui sert d'essieu ou de pivot à ce mouvement, une chaleur considérable par le frottement qui résulte de la charge et de la vitesse de cette planète; mais il ne nous est pas possible d'évaluer cette quantité de chaleur produite par cette cause extérieure, parce que nous n'avons rien jusqu'ici qui puisse nous servir d'unité ou de terme de comparaison : mais si l'on parvient jamais à connoître le nombre, la grandeur, et la vitesse de toutes les comètes, comme nous connoissons le nombre, la grandeur, et la vitesse de toutes les planètes qui circulent autour du soleil, on pourra juger alors de la quantité de chaleur que la lune peut donner à la terre, par la quan-

tité beaucoup plus grande de feu que tous ces vastes corps excitent dans le soleil; et je serois fort porté à croire que la chaleur produite par cette cause dans le globe de la terre ne laisse pas de faire une partie assez considérable de sa chaleur propre, et qu'en conséquence il faut encore étendre les limites des temps pour la durée de la nature. Mais revenons à notre principal objet.

Nous avons vu que les étés sont à très peu près égaux dans tous les climats de la terre, et que cette vérité est appuyée sur des faits incontestables : mais il n'en est pas de même des hivers; ils sont très inégaux, et d'autant plus inégaux dans les différents climats, qu'on s'éloigne plus de celui de l'équateur, où la chaleur en hiver et en été est à peu près la même. Je crois en avoir donné la raison dans le cours de ce mémoire, et avoir expliqué d'une manière satisfaisante la cause de cette inégalité par la suppression des émanations de la chaleur terrestre. Cette suppression est, comme je l'ai dit, occasionée par les vents froids qui se rabattent du haut de l'air, resserrent les terres, glacent les eaux, et renferment les émanations de la chaleur terrestre pendant tout le temps que dure la gelée, en sorte qu'il n'est pas étonnant que le froid des hivers soit en effet d'autant plus grand que l'on avance davantage vers les climats où la masse de l'air recevant plus obliquement les rayons du soleil est, par cette raison, la plus froide.

Mais il y a pour le froid comme pour le chaud quelques contrées sur la terre qui font une exception à la règle générale. Au Sénégal, en Guinée, à Angole, et probablement dans tous les pays où l'on trouve

l'espèce humaine teinte de noir, comme en Nubie, à la terre des Papous, dans la Nouvelle-Guinée, etc., il est certain que la chaleur est plus grande que dans tout le reste de la terre ; mais c'est par des causes locales, dont nous avons donné l'explication dans le premier volume de cet ouvrage[1]. Ainsi, dans ces climats particuliers où le vent d'est règne pendant toute l'année, et passe, avant d'arriver, sur une étendue de terre très considérable où il prend une chaleur brûlante, il n'est pas étonnant que la chaleur se trouve plus grande de 5, 6, et même 7 degrés, qu'elle ne l'est partout ailleurs; et de même les froids excessifs de la Sibérie ne prouvent rien autre chose, sinon que cette partie de la surface du globe est beaucoup plus élevée que toutes les terres adjacentes. « Les pays asiatiques septentrionaux, dit le baron de Strahlenberg. sont considérablement plus élevés que les européens : ils le sont comme une table l'est en comparaison du plancher sur lequel elle est posée; car, lorsqu'en venant de l'ouest et sortant de la Russie on passe à l'est par les monts Riphées et Rymniques pour entrer en Sibérie, on avance toujours plus en montant qu'en descendant. » « Il y a bien des plaines en Sibérie, dit M. Gmelin, qui ne sont pas moins élevées au dessus du reste de la terre, ni moins éloignées de son centre, que ne le sont d'assez hautes montagnes en plusieurs autres régions. » Ces plaines de Sibérie paroissent être en effet tout aussi hautes que le sommet des monts Riphées, sur lequel la glace et la neige ne fondent pas entièrement pendant l'été ; et si ce

1. Voyez l'Histoire naturelle, article *Variétés de l'espèce humaine*.

même effet n'arrive pas dans les plaines de Sibérie, c'est parce qu'elles sont moins isolées, car cette circonstance locale fait encore beaucoup à la durée et à l'intensité du froid ou du chaud. Une vaste plaine une fois échauffée conservera sa chaleur plus long-temps qu'une montagne isolée, quoique toutes deux également élevées, et, par cette même raison, la montagne une fois refroidie conservera sa neige ou sa glace plus long-temps que la plaine.

Mais, si l'on compare l'excès du chaud à l'excès du froid produit par ces causes particulières et locales, on sera peut-être surpris de voir que dans les pays tels que le Sénégal, où la chaleur est la plus grande, elle n'excède néanmoins que de 7 degrés la plus grande chaleur générale, qui est de 26 degrés au dessus de la congélation, et que la plus grande hauteur à laquelle s'élève la liqueur du thermomètre n'est tout au plus que de 33 degrés au dessus de ce même point, tandis que les grands froids de Sibérie vont quelquefois jusqu'à 60 et 70 degrés au dessous de ce même point de la congélation, et qu'à Pétersbourg, à Upsal, etc., sous la même latitude de la Sibérie, les plus grands froids ne font descendre la liqueur qu'à 25 ou 26 degrés au dessous de la congélation. Ainsi l'excès de chaleur produit par les causes locales n'étant que de 6 ou 7 degrés au dessus de la plus grande chaleur du reste de la zone torride, et l'excès du froid produit de même par les causes locales étant de plus de 40 degrés au dessus du plus grand froid sous la même latitude, on doit en conclure que ces mêmes causes locales ont bien plus d'influence dans les climats froids que dans les cli-

mats chauds, quoiqu'on ne voie pas d'abord ce qui peut produire cette grande différence dans l'excès du froid et du chaud. Cependant, en y réfléchissant, il me semble qu'on peut concevoir aisément la raison de cette différence. L'augmentation de la chaleur d'un climat tel que le Sénégal ne peut venir que de l'action de l'air, de la nature du terroir, et de la dépression du terrain : cette contrée, presque au niveau de la mer, est en grande partie couverte de sables arides; un vent d'est constant, au lieu d'y rafraîchir l'air, le rend brûlant, parce que ce vent traverse, avant que d'arriver, plus de deux mille lieues de terre sur laquelle il s'échauffe toujours de plus en plus; et néanmoins toutes ces causes réunies ne produisent qu'un excès de 6 ou 7 degrés au dessus de 26, qui est le terme de la plus grande chaleur de tous les autres climats : mais dans une contrée telle que la Sibérie, où les plaines sont élevées comme les sommets des montagnes le sont au dessus du niveau du reste de la terre, cette seule différence d'élévation doit produire un effet proportionnellement beaucoup plus grand que la dépression du terrain du Sénégal, qu'on ne peut pas supposer plus grande que celle du niveau de la mer; car si les plaines de Sibérie sont seulement élevées de quatre ou cinq cents toises au dessus du niveau d'Upsal ou de Pétersbourg, on doit cesser d'être étonné que l'excès du froid y soit si grand, puisque la chaleur qui émane de la terre décroissant à chaque point comme l'espace augmente, cette seule cause de l'élévation du terrain suffit pour expliquer cette grande différence du froid sous la même latitude.

Il ne reste sur cela qu'une question assez intéressante. Les hommes, les animaux, et les plantes, peuvent supporter pendant quelque temps la rigueur de ce froid extrême, qui est de 60 degrés au dessous de la congélation : pourroient-ils également supporter une chaleur qui seroit de 60 degrés au dessus? Oui, si l'on pouvoit se précautionner et se mettre à l'abri contre le chaud comme on sait le faire contre le froid, si d'ailleurs cette chaleur excessive ne duroit, comme le froid excessif, que pendant un petit temps, et si l'air pouvoit pendant le reste de l'année rafraîchir la terre de la même manière que les émanations de la chaleur du globe réchauffent l'air dans les pays froids. On connoît des plantes, des insectes, et des poissons qui croissent et vivent dans des eaux thermales dont la chaleur est de 45, 50, et jusqu'à 60 degrés : il y a donc des espèces dans la nature vivante qui peuvent supporter ce degré de chaleur; et comme les nègres sont dans le genre humain ceux que la grande chaleur incommode le moins, ne devroit-on pas en conclure avec assez de vraisemblance que, dans notre hypothèse, leur race pourroit être plus ancienne que celle des hommes blancs?

FIN DU QUATRIÈME VOLUME.

TABLE

DES ARTICLES

CONTENUS

DANS LE QUATRIÈME VOLUME.

HISTOIRE DES MINÉRAUX.

SUITE DE L'INTRODUCTION.

PARTIE EXPÉRIMENTALE.

SIXIÈME MÉMOIRE. Expérience sur la lumière et sur la chaleur qu'elle produit. . . . . Page 7

ART. I. Invention de miroirs pour brûler à de grandes distances. . . . . ibid.

ART. II. Réflexions sur le jugement de Descartes au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs, et l'explication de leurs principaux usages. 33

ART. III. Invention d'autres miroirs pour brûler à de moindres distances. 87

I. Miroirs d'une seule pièce à foyer mobile. . . . . ibid.

II. Miroirs d'une seule pièce pour brûler très vivement à des distances médiocres et à de petites distances. 89

III. Lentilles ou miroirs à l'eau 94

IV. Lentilles de verre solide. 100

V. Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible. 105

Explication des figures qui représentent le fourneau dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire des miroirs ardents de différentes espèces. 107

SEPTIÈME MÉMOIRE. Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées. . . . . Page 116
HUITIÈME MÉMOIRE. Expériences sur la pesanteur du feu, et sur la durée de l'incandescence. 136
Sur le fer. 155
Sur le verre. 159
NEUVIÈME MÉMOIRE. Expériences sur la fusion des mines de fer. 168
DIXIÈME MÉMOIRE. Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine. 209

PARTIE HYPOTHÉTIQUE.

PREMIER MÉMOIRE. Recherches sur le refroidissement de la terre et des planètes. 257
SECOND MÉMOIRE. Fondements des recherches précédentes sur la température des planètes. 380

FIN DE LA TABLE.

